BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES
ET DE L'INDUSTRIE

BADOUREAU ET GRANGIER

Les Mines
Les Minières et les Carrières

U d'/of OTTAWA
39003004457536

PARIS
ANCIENNE MAISON QUANTIN

LES MINES

LES MINIÈRES ET LES CARRIÈRES

BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE

OUVRAGES PARUS

A. Badoureau. — Les Sciences expérimentales. (Nouvelle édition entièrement refondue.)

O. Chemin et F. Verdier. — La Houille et ses dérivés.

P. Lefèvre et G. Cerbelaud. — Les Chemins de fer.

E. Lisbonne. — La Navigation maritime.

H. Deutsch. — Le Pétrole.

EN PRÉPARATION

Le Bris. — Les Constructions métalliques.

Rodary. — L'Électricité.

Tous droits réservés.

BIBLIOTHÈQUE DES SCIENCES ET DE L'INDUSTRIE
PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE M. J. PICHOT

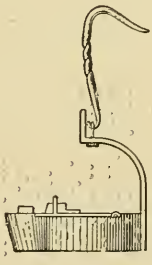
LES MINES

LES MINIÈRES ET LES CARRIÈRES

PAR

A. BADOUREAU
Ingénieur au corps des mines.

P. GRANGIER
Ancien élève de l'École polytechnique.



PARIS
ANCIENNE MAISON QUANTIN
LIBRAIRIES-IMPRIMERIES RÉUNIES
MAY & MOTTEROZ, DIRECTEURS
7, rue Saint-Benoît.

Universitas
BIBLIOTHECA
Ottaviensis

TN
275
.B76
1892

17433

A LA MÉMOIRE

DE MON EXCELLENT CAMARADE ET AMI

PIERRE PÉRIGNY GRANGIER

J'OFFRE CE LIVRE

Que nous avons conçu ensemble
Et qu'il choyait, selon ses propres expressions,
Comme notre enfant.

A. BADOUREAU

Amiens, le 30 septembre 1892.

Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
University of Ottawa

http://www.archive.org/details/lesmineslesmini00bado

PRÉFACE

Nous avons eu pour but, dans le présent ouvrage, de faire connaître aux lecteurs de la *Bibliothèque des sciences et de l'industrie* une industrie très intéressante à divers points de vue : elle est l'une des plus anciennes parmi celles que créa l'homme, puisqu'elle date du moment où il renonça à l'emploi exclusif des instruments en bois, et qu'à côté des premiers tailleurs de silex se trouvaient déjà des mineurs pour les extraire; actuellement, elle procure chaque année à l'humanité des matières premières valant près de dix milliards de francs; elle s'exerce, en grande partie, au sein de la terre, dans des conditions en quelque sorte mystérieuses; enfin, elle offre des dangers considérables auxquels la science des ingénieurs et la prudence des exploitants peuvent parer dans une certaine mesure.

Il est inutile de dire que ce petit livre n'est nullement un traité proprement dit d'*exploitation des mines*, comme les beaux ouvrages de MM. Callon (1874), Burat (1880), Haton de la Goupillière (1884). Notre visée a été beaucoup plus modeste; nous avons seulement essayé, dans un court résumé, de mettre les gens du monde à peu près au courant d'une industrie qui a pris des proportions considérables. Ses progrès récents ont été constatés en 1889 dans les réunions si intéressantes du *Congrès des mines et de la métallurgie*, et dans le livre de M. Dujardin-Beaumetz sur le matériel et les procédés de l'*exploitation des mines* à l'Exposition universelle de 1889. Nous nous sommes bornés à décrire, pour chaque nature de travail, les appareils les plus rudimentaires et les plus perfectionnés, et nous nous sommes systématiquement abstenus de tout calcul abstrait. Peut-être sommes-nous tombés parfois dans l'obscurité ou dans la banalité, mais ce sont deux écueils entre lesquels nous nous sommes efforcés de passer.

Nous avons fait de larges emprunts aux ouvrages précités, au *Dic-*

tionnaire de l'industrie et des arts industriels, important ouvrage commencé en 1881 par M. E.-O. Lami, et contenant de nombreux articles que j'ai écrits sur l'art des mines, à l'intéressant petit guide [1] de l'ouvrier et du maître mineur, publié par M. Demanet, et au très remarquable rapport présenté par M. Haton de la Goupillière à la Commission du grisou.

La grave question de l'ouvrier mineur, sujet de polémiques aussi vives qu'intéressantes, sera, dans ce volume, l'objet d'asez longs développements.

Nous avons cru devoir terminer notre livre par quelques monographies de mines très diverses, empruntées généralement aux journaux de voyage des élèves de l'*École supérieure des mines de Paris*. Nos lecteurs feront de la sorte, dans leur fauteuil, un voyage qui complétera leur instruction.

Puissions-nous avoir aussi bien réussi dans notre tâche que nos prédécesseurs en écrivant les *Chemins de fer*, la *Houille*, la *Navigation maritime* et le *Pétrole!*

Je remercie sincèrement M. Jules Pichot de l'extrême bonne grâce avec laquelle il m'a aidé à achever ce livre, en prenant la place de mon cher collaborateur Grangier, que la mort a si brusquement enlevé à ses amis le 2 avril 1890.

Je prie également mes vénérés maîtres MM. Haton de la Goupillière et Ledoux, mes camarades MM. Boutan, Lallemand, Soubeiran, Chesneau, Aubert, Pellé, Rateau, Chapuy, Coste et Laurent, MM. Lamy et Maurice Cosserat, ingénieurs des arts et manufactures, MM. Viala, directeur des mines de Liévin, Reumaux et Havard-Duclos, ingénieurs aux mines de Lens, M. Watteyne, ingénieur au corps des mines de Belgique, et MM. Radermacher et Lenné, ingénieurs de la maison Humboldt, d'agréer tous mes remerciements pour les conseils et les renseignements qu'ils ont bien voulu me fournir.

Au moment de mettre sous presse, j'ai fait de nombreux emprunts à un mémoire publié aux *Annales des mines*, par M. Maurice Bellom, sur les appareils de sûreté dans les mines, exposés à Berlin en 1889.

1. *Gisement, extraction et exploitation des mines de houille.*

A. Badoureau.

LES MINES

LES MINIÈRES ET LES CARRIÈRES

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

DÉFINITION

Dans le langage courant, on comprend sous le nom de *mines* les diverses excavations creusées par l'homme dans le sein de la terre, pour en extraire des matières nécessaires à son industrie, pourvu que leur ouverture superficielle soit notablement inférieure à leur projection horizontale totale. La définition administrative et légale est absolument différente.

La législation minérale varie naturellement un peu d'un pays à l'autre, mais le cadre de cet ouvrage nous met dans l'obligation de nous borner à considérer la législation française. Elle repose essentiellement sur les lois du 21 avril 1810, du 9 mai 1866 et du 27 juillet 1880, auxquelles nous empruntons les quelques détails suivants.

Les masses minérales ou fossiles renfermées dans le sein de la terre ou existant à sa surface sont qualifiées mines, minières et carrières, suivant leur nature chimique.

Sont considérées comme *mines* celles connues pour contenir du fer, sauf l'exception ci-dessous, ou, sous une forme quelconque, les matières suivantes : or, argent, platine, mercure, plomb, cuivre, étain, zinc, bismuth, cobalt, arsenic, manganèse, antimoine, molybdène, matières métalliques diverses, soufre, graphite, charbon de terre, bois fossile, bitumes, alun et sulfates métalliques. Le sel gemme, qui n'avait pas été placé dans cette classification, l'a été ultérieurement.

Les *minières* comprennent les minerais de fer dits d'alluvion, les terres pyriteuses propres à être converties en sulfate de fer, les terres alumineuses et les tourbes.

Les *carrières* renferment, quel que soit leur mode d'exploitation, les ardoises, les grès, les pierres à bâtir et autres, les marbres, les granites, les pierres à chaux, les pierres à plâtre, les pouzzolanes, les trapps, les basaltes, les laves, les marnes, les craies, les sables, les pierres à fusil, les argiles, les kaolins, les terres à foulon, les terres à poterie, les substances terreuses et les cailloux de toute nature, les terres pyriteuses regardées comme engrais. Le phosphate de chaux, omis dans cette énumération, doit y être rangé en vertu de divers récents décrets.

Ainsi, c'est la seule nature des substances à extraire, et nullement la méthode d'exploitation, qui différencie, en France, les mines, les minières et les carrières.

LÉGISLATION FRANÇAISE

La propriété des carrières et des minières est liée à celle de la surface du sol. Les propriétaires de carrières ont le droit de les exploiter ou de les laisser exploiter, moyennant une déclaration au maire de la commune où elles sont situées, jointe à un plan en deux expéditions au 1/500 si elles comportent des travaux souterrains. L'exploitation est soumise à la surveillance des maires et des ingénieurs des mines; dans le cas où elle a lieu par travaux sou-

terrains, la surveillance des ingénieurs des mines s'appuie sur les articles 47, 48, 50 de la loi du 21 avril 1810. Depuis le 9 mai 1866, les minières sont soumises à un régime analogue, sauf que les minières souterraines nécessitent, pour être exploitées, une autorisation préfectorale, et sauf que les tourbières sont astreintes, dans certains départements, à une réglementation spéciale.

La propriété des mines est créée par un acte de concession délibéré et rendu en Conseil d'État.

Recherches. — Les recherches de mines peuvent être faites par le propriétaire du sol ou avec son consentement, mais à la condition de ne pas exploiter, de se soumettre à la surveillance administrative pour la sûreté des ouvriers et de ne pas approcher les travaux à moins de cent mètres d'une maison ou enclos muré sans le consentement du propriétaire.

Le ministre des travaux publics peut donner à celui qui fait des recherches l'autorisation renouvelable de disposer pendant un an du produit de ses recherches, s'il adresse au préfet une demande accompagnée d'un plan au dix-millième. Le permis de vente oblige à tenir un registre d'avancement des travaux et à ne pas faire une réelle exploitation; il ne préjuge pas le choix du concessionnaire futur.

Les recherches de mines peuvent aussi être faites sans l'autorisation du propriétaire du sol, mais avec celle du chef de l'État. Le permissionnaire doit alors payer d'avance au propriétaire, pour l'occupation de ses terrains, le double de ce qu'ils lui auraient rapporté; dans le cas où il doit occuper définitivement ces terrains, il peut être tenu de les acheter au double de leur valeur. De plus, si le permissionnaire a un permis de vente, le gouvernement fixe la redevance qu'il doit payer au propriétaire.

Dans l'intérieur d'une concession déjà accordée, le concessionnaire seul a le droit de faire les recherches pour la matière concédée.

Concession. — Une fois le gîte découvert, il faut adresser au préfet, par voie de simple pétition, une demande de concession, en l'ac-

compagnant d'un plan en triple expédition au dix-millième dressé ou vérifié par l'ingénieur des mines. Le préfet certifie ce plan, fait inscrire à sa date sur un registre particulier la demande et en ordonne l'affichage ainsi que les publications dans les dix jours. L'affichage a lieu pendant deux mois aux chefs-lieux du département et de l'arrondissement où la mine est située, dans la commune où le demandeur est domicilié et dans toutes les communes sur le territoire desquelles s'étend la demande; les affiches sont insérées deux fois et à un mois d'intervalle dans le *Journal officiel* et dans un journal du département, au choix de la préfecture. Les publications doivent être faites devant la porte de la maison commune et des églises paroissiales et consistoriales, à la diligence des maires, à l'issue de l'office du dimanche et au moins une fois par mois pendant la durée des affiches. Les oppositions et demandes en concurrence sont admises devant le préfet pendant deux mois, à partir de la date de l'affiche; elles sont notifiées à la préfecture par actes extra-judiciaires et insérées sur le registre. Après l'expiration de la durée de l'affichage, l'ingénieur des mines fait un rapport et le préfet le transmet avec son avis au ministre des travaux publics. Celui-ci prend l'avis du Conseil général des mines et soumet la demande au Conseil d'État, qui statue définitivement. Jusqu'à l'émission du décret, toute opposition est admissible devant le ministre de l'intérieur ou le secrétaire général du Conseil d'État.

La concession est attribuée par un acte qui en détermine l'étendue; elle est limitée à des plans verticaux et s'étend théoriquement jusqu'au centre de la terre. Le bornage doit avoir lieu à la diligence du préfet, en présence de l'ingénieur des mines, aux frais du concessionnaire, dans les trois mois qui suivent la signature par le chef de l'État de l'acte de concession.

Le gouvernement accorde la concession à qui il veut. S'il décide de l'accorder à une autre personne qu'à l'*inventeur*, c'est-à-dire à celui qui a fait connaître la disposition du gîte et démontré l'utilité de son exploitation, il règle dans l'acte de concession l'indemnité que le concessionnaire doit à l'inventeur, en dehors du

remboursement des travaux utiles, c'est-à-dire des travaux qui sont applicables à l'exploitation, qui ont établi la concessibilité du gîte ou qui ont fourni des renseignements nécessaires à l'exploitation.

En France, l'exploitation des mines n'est pas considérée comme un commerce et n'est pas sujette à patente, mais les concessionnaires doivent payer à l'État une *redevance fixe* de 10 francs par kilomètre carré concédé, et une *redevance proportionnelle* qui représente 5 0/0 du produit net, c'est-à-dire de l'excédent de la valeur au carreau de la mine des matières extraites dans l'année, qu'elles aient été d'ailleurs ou non utilisées par l'exploitant, sur les dépenses qu'a nécessitées leur extraction[1]. Des circulaires ministérielles ont établi que certaines dépenses déterminées faites par la mine ne devaient pas entrer en ligne de compte. Les dépenses de premier établissement sont intégralement comptées pour l'année où elles ont été faites, et les excédents de dépense d'une année ne peuvent venir en déduction du revenu net des années qui suivent. Les exploitants sont tenus d'adresser au préfet, avant le 1er mai, une déclaration détaillée des recettes et dépenses et, par suite, du produit net de l'année précédente. Le Comité de proposition, composé de l'ingénieur des mines, du maire et des adjoints des communes sur lesquelles s'étend la concession et des deux répartiteurs communaux les plus fort imposés, fait une seconde proposition pour le revenu net. L'ingénieur des mines et le directeur des contributions directes font chacun successivement de nouvelles propositions pour ce revenu net, qui est enfin fixé par le Comité d'évaluation, composé du préfet ou d'un conseiller de préfecture, de deux conseillers généraux nommés par le préfet, du directeur des Contributions directes, de l'ingénieur des mines et de deux des principaux propriétaires de mines, dans les départements où il y a un nombre suffisant d'exploitations. Si les exploitants trouvent que le Comité d'évaluation les a imposés sur un produit net trop élevé, ils peuvent en appeler devant le Conseil

1. Par exception, les mines de sel gemme ne payent pas la redevance proportionnelle. Elles payent seulement la redevance fixe et l'impôt du sel.

de préfecture, ou, dans le cas où ils n'obtiennent pas gain de cause, devant le Conseil d'État. Les exploitants peuvent obtenir un abonnement, pour cinq années, à la redevance proportionnelle, qui est alors calculé sur la moyenne des cinq années précédentes. La redevance fixe et la redevance proportionnelle sont augmentées l'une et l'autre d'un dixième dans tous les cas.

Il résulte de ce qui précède que le produit net imposable d'une mine devrait être chaque année supérieur au bénéfice réel. Comme, d'autre part, les pertes des années en déficit n'entrent pas en ligne de compte, la somme des produits nets imposables devrait être notablement supérieure à la somme des bénéfices réels, et *a fortiori* à la somme des dividendes distribués, puisqu'une partie des gains sert de fonds de réserve. Cependant, il est des mines dont les produits nets déclarés sont, au total, inférieurs aux dividendes distribués. Leurs exploitants considèrent sans doute que frauder l'État est simplement de l'habileté commerciale. Le contrôle des redevances est une tâche assurément ingrate, mais assez importante pour les intérêts de l'État :

REDEVANCES PAYÉES PAR LES MINES DE FRANCE ET D'ALGÉRIE EN 1891

	Proportionnelles sur les produits de 1890.	Fixes.	10 pour 100 additionnels.
	Francs.	Francs.	Francs.
Combustibles	3 089 969,40	54 571,28	314 454,01
Fer.	86 379,17	16 505,77	10 288,44
Divers	374 885,20	44 537,58	41 942,30

Les concessionnaires doivent, d'autre part, aux propriétaires de la surface, une redevance qui est généralement très faible et qui se trouve déterminée dans l'acte de concession.

Le concessionnaire d'une mine peut aussi être, par arrêté préfectoral, autorisé à occuper, dans le périmètre de sa concession, et cela malgré l'opposition des propriétaires, les terrains dont il a besoin pour l'exploitation de la mine, la préparation mécanique des minerais ou le lavage des combustibles, ainsi que pour l'éta-

blissement de routes ou de chemins de fer ne modifiant pas sensiblement le relief du sol. L'indemnité due aux propriétaires est le double du produit net du terrain occupé. Dans le cas où cette occupation dure plus d'une année, le concessionnaire peut être obligé, par le propriétaire du sol, à acheter, au double de la valeur d'estimation avant l'occupation, les terrains occupés et même la totalité des pièces de terre dont ils font partie, s'ils en constituent une portion considérable.

Le titulaire de l'acte de concession peut procéder à l'exploitation de la mine par les procédés divers qu'exposera le présent ouvrage.

L'ingénieur au corps des mines, dans le sous-arrondissement duquel la concession est située, a le devoir de la visiter au moins une fois chaque année en dressant, de cette visite, un procès-verbal détaillé dont il remet une expédition à l'exploitant. Il doit en outre se rendre sur les lieux chaque fois qu'il survient un accident grave. Les ingénieurs des mines sont secondés dans leur surveillance par les contrôleurs des mines.

A côté de cette surveillance officielle, exercée avec compétence, indépendance et impartialité par les membres du corps des mines, une loi récente, promulguée le 9 juillet 1890, en place une autre, plus immédiate et plus fréquente, confiée à des ouvriers délégués par leurs camarades à leur sécurité.

Ils doivent visiter deux fois par mois tous les puits, galeries et chantiers de leur circonscription, ainsi que les appareils servant à la circulation ou au transport des ouvriers. Ils doivent, en outre, visiter sans délai les lieux où s'est produit un accident ayant causé des blessures ou pouvant compromettre la sécurité. Leurs observations sont consignées sur un registre; l'exploitant y inscrit s'il le veut ses réponses. Des copies des observations et des réponses sont communiquées à l'ingénieur des mines. Les ingénieurs et contrôleurs des mines doivent viser ce registre dans leurs tournées, et peuvent se faire accompagner par le délégué mineur de la circonscription.

MINERAIS

Après ces quelques renseignements sur la législation minérale française, passons à la description des gisements et voyons d'abord quelles sont les substances extraites.

Un *minerai* est une substance généralement solide extraite par l'homme du sein de la terre et qui lui sert, par des opérations physiques ou chimiques, à obtenir, *avec bénéfice pécuniaire*, un métal ou un corps utile à son industrie.

Nous soulignons à dessein le mot bénéfice, car c'est la condition absolument caractéristique du minerai.

Le minerai est soumis à des opérations physiques consistant généralement en un *broyage* et un *lavage* qui feront l'objet du chapitre XII de cet ouvrage. Quant aux opérations chimiques qui concernent spécialement la *Métallurgie*, elles seront décrites dans les volumes de la *Bibliothèque des sciences et de l'industrie* consacrés à cette branche de l'industrie.

Nous nous proposons, pour le moment, d'indiquer les principaux minerais que la nature nous fournit en disant également quelques mots des gangues ou substances qui les accompagnent.

L'or, l'argent, le platine, le mercure, le cuivre et le bismuth se trouvent à l'état natif; l'étain, le fer, le manganèse, l'aluminium, l'antimoine à l'état d'oxyde; l'argent, le cuivre, le plomb, le zinc, l'antimoine à l'état de sulfure; le nickel et le cobalt à l'état d'arséniure ou d'arséniosulfure; le cuivre, le zinc, le fer à l'état de carbonate; l'aluminium à l'état de fluorure; le zinc, le nickel à l'état de silicate. La pyrite de fer est surtout un minerai de soufre sous ses diverses variétés (jaune, blanche et magnétique); cependant, quand la pyrite grillée contient moins de 1 à 2 0/0 de soufre, quand elle ne contient pas de trace dosable d'arsenic, et quand elle ne contient pas de cuivre, ou quand elle en est débarrassée par lavage, on parvient à l'employer comme minerai de fer

dans les hauts fourneaux. Le mispickel est seulement un minerai d'arsenic : ce corps grillé renferme trop d'arsenic et cette impureté est extrêmement nuisible dans la fonte.

Le lecteur trouvera, sous la signature de l'un de nous, dans le *Dictionnaire de l'industrie et des arts industriels* de M. E.-O. Lami, à l'article *minerai*, une énumération assez complète des diverses espèces minérales susceptibles de constituer des minerais métalliques.

Les gangues qui accompagnent le plus habituellement les minerais sont le quartz (acide silicique cristallisé), le feldspath (silicoaluminate de silicate alcalin ou alcalino terreux), la calcite et l'aragonite (carbonate de chaux), le gypse (sulfate de chaux hydraté), le spath fluor (fluorure de calcium), la barytine (sulfate de baryte), la withérite (carbonate de baryte), etc.

On considère également comme gangues certains minerais, quand ils accompagnent des matières plus riches que l'on se propose seulement d'exploiter : la sidérose (carbonate de fer), l'oxyde de fer, la pyrite de fer, la blende (protosulfure de zinc et de fer), etc.

DESCRIPTION DES GISEMENTS

Les gisements des substances minérales que l'on peut exploiter, soit à la surface de la terre, soit dans son sein, peuvent être classés, d'après leur formation géologique et leur disposition géométrique, en *couches, filons* et *amas* que nous allons étudier successivement[1].

Couches. — Les couches appartiennent aux terrains stratifiés, sédimentaires ou neptuniens qui se sont déposés au sein des eaux; suivant la nature de celles-ci, ces terrains sont divisés en lacustres et marins (la faune et la flore fossiles rencontrées indiquent la nature de cette formation). Souvent aussi, certaines couches sont

1. Voyez ce même exposé, fait à un autre point de vue, dans l'ouvrage de l'un de nous : *les Sciences expérimentales*.

désignées sous le nom de *strates* jurassiques, *assises* du terrain houiller, etc.; les *passées* sont de minces couches de houille; les *haveries* sont de minces couches d'argile au-dessous des couches de houille; les couches de nature quelconque, mais de faible épaisseur, constituent des *lits* ou des *feuillets*.

Formation des couches. — Elle est généralement due à l'une des actions suivantes :

La *sédimentation*, lorsque les substances enlevées aux terrains de formation antérieure se déposaient par suite d'un ralentissement de vitesse de l'eau.

L'*évaporation*, qui a produit les dépôts des matières minérales dissoutes dans l'eau (gisements de sel gemme).

La *précipitation*, amenant un dépôt de substances insolubles formées par réaction chimique au sein des eaux (gypse, fer carbonaté des houillères, etc., etc.).

La *végétation*, si puissante aux premières époques géologiques, a produit par décomposition, sous l'eau, des couches de combustibles minéraux, notamment lors du dépôt du terrain houiller [1].

Enfin la *vie animale* a été la cause de la formation de divers dépôts et principalement de calcaires constitués par des coquilles fossiles.

Considérations générales sur les couches. — Une masse minérale de cette nature est théoriquement comprise entre deux surfaces parallèles ou sensiblement telles, appelées *épontes;* l'éponte inférieure, c'est-à-dire la roche sur laquelle repose la couche, est le *mur*, celle qui la surmonte est le *toit* (fig. 1).

La distance *ab* entre le mur et le toit constitue la *puissance* de la couche. Le mur et le toit présentent des différences généralement très sensibles; ainsi pour la houille, par exemple, le toit est lisse, a une texture fine et homogène et présente des empreintes végétales; le mur est, au contraire, spongieux et dépourvu d'empreintes.

La qualité du toit a une grande importance. S'il est ébouleux,

1. *Le Charbon de terre : sa formation, son extraction, ses usages.* (*Revue scientifique* du 9 mai 1885.)

il faut le soutenir. S'il présente des clivages, on a à craindre la formation de cloches qui peuvent être de véritables nids à grisou. Un faux toit, c'est-à-dire un mauvais toit, surmonté d'un bon toit, doit disparaître, bien qu'en tombant il salisse la matière utile. La qualité du mur n'est pas non plus négligeable. S'il n'est pas assez solide, les soutiens du toit s'affaissent et il se produit des effondrements. On doit, dans ce cas, boiser avec cadres à semelles.

On appelle parfois *ouverture* la distance du toit au mur, en

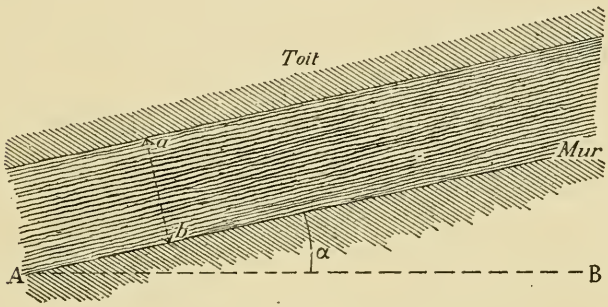


Fig. 1. — Éléments constituants d'une couche.

réservant le nom de *puissance* à l'ouverture diminuée de l'épaisseur des lits intercalés de matières stériles.

La puissance des couches est très variable; ainsi la houille se trouve en passées de moins de 30 centimètres qui ne sont pas exploitables, tandis qu'on rencontre des couches puissantes de 50 à 60 mètres.

Allure des couches. — La géologie nous apprend que toutes les couches ont été déposées horizontalement, mais que, par suite du refroidissement de la terre, il s'est produit une contraction qui a amené dans certaines zones des plissements. Aussi trouve-t-on des couches à peu près horizontales (bassin houiller anglais), mais plus fréquemment des couches inclinées. De plus, l'écorce terrestre a subi des ruptures, appelées *failles* ou *crains;* les parties du terrain situées de chaque côté de la faille sont tombées de quan-

tités inégales, ou bien ont pu être soulevées, ce qui a produit des *rejets* ou *accidents*.

L'allure de la couche est caractérisée par deux éléments, la direction et l'inclinaison, que nous allons définir en supposant la couche plane.

La *direction* est la ligne d'intersection de la couche avec un plan horizontal. Le même mot sert aussi à mesurer l'angle de cette droite avec la méridienne, cette mesure se fait avec la boussole. La direction se compte quelquefois du nord au sud par l'est, et alors elle est mesurée par un nombre compris entre 0 et 180°. Souvent aussi, elle est comptée du nord à l'est ou du nord à l'ouest, et elle est mesurée par un nombre compris entre 0 et 90°, avec la mention du sens où on la compte, par exemple : N. 25° E., N. 42° W.[1].

L'*inclinaison* est la ligne de plus grande pente de la couche[2] ou l'angle que cette droite fait avec sa projection horizontale et qui mesure l'angle dièdre du plan du gîte avec celui de l'horizon ; cet angle est indiqué en α (fig. 1) ; il se mesure au moyen du clinomètre. Cet angle s'appelle aussi *plongement* ou *pendage*.

Certaines couches ont subi des renversements de plus de 90°, leur toit géologique est devenu le mur géométrique, et inversement.

Une galerie horizontale divise une couche en deux parties : l'*amont-pendage* et *l'aval-pendage*.

Selon que la couche s'approche sensiblement du plan horizontal ou vertical, elle prend le nom de *plateure*, *plat*, ou *partie plateuse*, ou bien au contraire celui de *dressant*, *droit* ou *partie raide*.

Quant aux couches courbes, elles sont définies en chaque point par la direction et l'inclinaison du plan tangent. Les parties voisines

1. La lettre O ne doit jamais être employée : elle est à la fois l'initiale du mot ouest et celle du mot allemand *ost* qui signifie est.

2. La ligne de plus grande pente de la couche se projette sur un plan horizontal perpendiculairement à la trace de la couche. On la représente par une flèche dont on met la pointe dans le sens descendant.

d'un point où le plan tangent est horizontal sont désignées sous divers noms, suivant leur courbure : *fond de bateau*, partie de couche cylindrique concave vers le haut; *selle*, partie cylindrique convexe vers le haut[1]; *cuvette*, partie de surface à simple courbure concave vers le haut; *dôme*, partie de surface à simple courbure convexe vers le haut; *col*, partie de surface à double courbure.

Quand les couches sont formées de substance malléable elles peuvent présenter des renflements appelés *coufflées* ou *bouillards*, ou des étranglements dits *étreintes*. Il se produit même parfois une succession d'étranglements et de renflements qui donne à la couche l'allure dite en *chapelet*, que l'on rencontre assez fréquemment dans les couches de houille.

Il arrive aussi quelquefois que, par suite d'érosion, le toit de la couche a été en partie enlevé, ce qui produit des *défauts de masse*.

Il se manifeste également dans les couches des bancs lenticulaires de substance étrangère, dits *nerfs* ou *bancs*, mais les branches de la couche se rencontrent plus loin.

La couche peut aussi être modifiée quant à la nature même de la matière dont elle est formée; c'est ainsi que la houille devient du schiste houiller ou du coke, le sable du grès, et qu'au lieu de grès ferrugineux on trouve de l'oxyde de fer. Dans les affleurements, le contact de l'air modifie les couches, le charbon se brûle et ne laisse que des cendres, les sulfures sont brûlés et transformés en sulfates entraînés par les eaux.

Filons. — Ainsi que nous l'avons dit plus haut, on appelle *failles* des cassures de l'écorce terrestre, qui se prolongent parfois en direction sur une longueur considerable.

Par suite du refroidissement terrestre, les roches situées de

1. Un fond de bateau est caractérisé par une ligne de thalweg et une selle par une ligne de faîte. La région située entre un thalweg et le faîte suivant, et comprenant une partie du fond de bateau et une partie de la selle, s'appelle *versant* ou *comble*. Deux versants contigus, au lieu de se raccorder par une surface courbe, peuvent faire un angle brusque qui est même quelquefois aigu; le thalweg ou le faîte qui les sépare sont appelés *ennoyage* ou *crochon*.

part et d'autre d'une faille sont tombées d'une plus ou moins grande hauteur ; cette chute s'est du reste renouvelée ultérieurement une ou plusieurs fois ; il est facile, en tout cas, d'observer le mouvement relatif total de ces deux parties du terrain.

On rencontre des failles ne possédant presque pas d'épaisseur et formées par de simples glissements ; elles présentent une surface brillante qui les a fait appeler *miroirs* ou *spiegel*. Souvent il s'est produit un bâillement dans lequel sont venus s'introduire les débris des roches encaissantes et des formations supérieures, ou bien des matières ignées venant de l'intérieur, ce qui constitue des *dykes*.

Mais, heureusement aussi, pour remplir ces vides, il a pu venir de l'intérieur du globe terrestre des substances utiles : fondues, dissoutes ou vaporisées, qui ont transformé la faille en filon ; nous allons étudier les différentes manières dont s'est fait ce remplissage.

Lorsque c'est la pression qui a produit l'afflux des matières liquides, la matière déposée est homogène, à part quelques liquations donnant lieu à la formation de cristaux de diverses substances.

Généralement, c'est l'eau chaude sous pression qui a amené les substances constitutives du filon et les a déposées au fur et à mesure de l'abaissement de température et de pression. Ces eaux ont éprouvé, pendant le remplissage du filon, des changements de nature qui ont produit une disposition rubanée (fig. 2), symétrique des deux côtés du filon avec un vide central et des cristallisations dont les pointes sont dirigées vers l'intérieur.

Parfois, les vides ont été remplis par sublimation au moyen de gaz charriant des substances volatilisées ; le filon présente également la même structure rubanée symétrique.

On rencontre les filons aussi bien dans les terrains sédimentaires que dans les terrains éruptifs. Dans les premiers, ils coupent généralement la stratification, car celle-ci est plutôt voisine de l'horizontale, et les filons se rapprochent de la verticale. Les filons

peuvent aussi s'insérer entre deux couches successives manquant d'adhérence; ils prennent, dans ce cas, le nom de *filon couche;* s'ils s'insèrent entre des terrains éruptifs et sédimentaires, ils constituent des *filons de contact.*

Dans un filon, l'éponte géométriquement supérieure constitue le toit, celle inférieure est le mur; contrairement à ce qui a lieu dans une couche, le toit et le mur d'un filon sont contemporains. Les épontes du filon ne sont pas toujours bien nettes, car les liquides ou les gaz qui ont produit le filon ont souvent altéré ces épontes; elles sont parfois occupées par des matières argileuses provenant de leur frottement : les épontes du filon sont alors désignées sous le nom de *salbandes.* La direction de la faille ou du filon varie lorsqu'elle traverse des couches de résistance inégale. La faille tend à se rapprocher de la stratification dans les couches délitées, de la verticale dans les couches compactes et tendres et de la normale dans les couches dures. Quand les couches d'égale résistance se reproduisent périodiquement, le filon affecte la forme d'un escalier; s'il y a rejet, l'ouverture présente une largeur qui varie suivant l'inclinaison. Lorsque certaines couches stratifiées sont attaquables par le liquide ou le gaz qui donne naissance au filon, celui-ci présente en ces points une augmentation de puissance. Un filon peut se barrer comme une couche; c'est ainsi que les trois filons de cinabre des mines de mercure d'Almaden n'en font vraisemblablement qu'un seul en profondeur. Ce fait a été autrefois la cause de difficultés, lorsque, dans certains pays tels que la Hongrie, on donnait la concession d'un filon au lieu d'accorder, comme on le fait presque partout actuellement, une concession limitée à des plans verticaux.

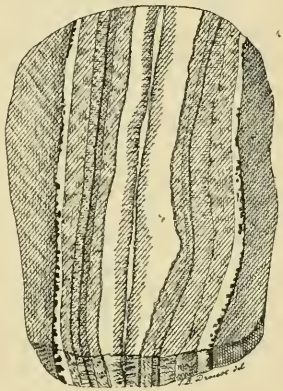


Fig. 2.
Coupe transversale d'un filon.

Le mineur qui suit un filon et arrive à un endroit où il se divise, doit suivre de préférence la branche dont la direction s'éloigne le moins de celle moyenne du filon, surtout quand cette branche est située au mur. Lorsqu'on voit le filon s'éparpiller, c'est souvent l'indice qu'on est près de sa fin.

Les filons peuvent s'arrêter à une faille, si celle-ci est antérieure, ou être rejetés par elle quand elle est postérieure. En cas de remplissage utile de la faille, celle-ci devient un *filon croiseur*. Lorsque deux filons viennent à se croiser, une plus grande richesse se manifeste à leur intersection, ce qui peut s'expliquer aisément; en effet, cette région a été plus disloquée et, par suite, elle a été plus facilement traversée par les liquides ou les gaz et enrichie de dépôts plus nombreux.

Certains filons se sont réouverts à diverses périodes, ce qui complique leur étude. Un filon peut passer à l'intérieur d'un autre filon. Les filons sont souvent accompagnés de filons parallèles et de filons perpendiculaires contemporains.

En dehors des minerais et des gangues, on trouve dans les filons un *remplissage*, formé de l'ensemble des débris de la roche encaissante; quand ces débris sont d'une grande importance, le filon est dit *bréchiforme*.

Pour qu'on ait bénéfice à exploiter un filon, il est nécessaire qu'il soit assez puissant, et que les matières extraites contiennent environ 30 0/0 *de fer*, 5 0/0 *de zinc*, 3 0/0 *de plomb*, 2 0/0 *de cuivre*, 0,01 0/0 *d'argent*, ou 0,001 0/0 *d'or*.

Quant à la composition du filon, elle varie en direction et surtout en profondeur. L'affaiblissement de la minéralisation en profondeur peut être extrêmement rapide : c'est ainsi que, dans une mine d'or de l'Amérique du Sud, on a trouvé 92 grammes à la tonne près de la surface, 16 grammes à 10 mètres de profondeur et uniquement des traces à 20 mètres. Les filons métalliques présentent, en général, près de la surface du sol un *chapeau de fer* dont l'origine est facile à comprendre : les sulfures, en arrivant près de la surface du sol, ont éprouvé une oxydation qui a amené

la production de sulfates entraînés par les eaux et d'oxydes qui sont restés. Certains gisements de minerai de fer sont constitués uniquement par le chapeau de fer de filons pyriteux descendant en profondeur.

Richesse des filons. — Diverses circonstances influent sur la richesse des filons, notamment la nature des roches encaissantes qui peut favoriser les réactions chimiques, d'où résulte le dépôt, ou leur être nuisible.

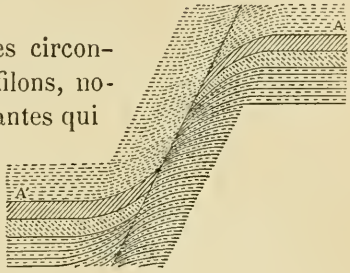


Fig. 3. — Passage des rejets.

Les parties les plus riches d'un même filon sont : 1° les plus raides ; 2° celles encaissées dans des roches de dureté moyenne qui se sont cassées nettement sans s'ébouler ; 3° celles voisines de la direction de la cassure de l'écorce terrestre qui a donné naissance au filon. Les colonnes riches sont dirigées habituellement suivant l'intersection du filon par un plan de stratification.

Au point de vue de la richesse d'un filon déterminé, ces règles générales ne valent pas les règles particulières observées par l'ingénieur qui l'exploite.

Passage des rejets. — Les couches et les filons se trouvent fréquemment brisés par des failles, le long desquelles s'est effectué un mouvement souvent étendu des deux parties du terrain, mouvement qui est, pour l'ingénieur, la source de graves difficultés. Par suite de la rupture, il a pu se produire un simple décollement des deux parties qui sont restées en regard l'une de l'autre ; souvent aussi, le toit de la faille ou la partie supérieure a glissé, en descendant, par rapport au mur ou à la partie qui se trouve en dessous.

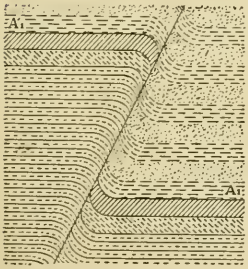


Fig. 4. — Passage des rejets.

C'est le cas de la figure 3 ; quelquefois aussi, mais rarement,

il a glissé en remontant comme dans la figure 4. Parfois la composition minéralogique du terrain de l'autre côté de la faille fait connaître dans quel cas particulier on se trouve.

En l'absence de tout indice, on suit la *règle de Schmidt*, ou de l'*angle obtus*, qui s'énonce ainsi : on doit en général franchir un rejet par un bout de galerie horizontale perpendiculaire à la trace horizontale de la faille et *dirigée du côté de l'angle obtus de la faille avec le plan horizontal.* Cette règle comporte de très nombreuses exceptions, que les lecteurs trouveront exposées dans les traités spéciaux, avec les considérations géométriques par lesquelles on la déduit de l'indication ci-dessus.

Amas. — Les couches et les filons présentent, ainsi que nous l'avons dit, une forme lenticulaire; on rencontre d'autres gisements de forme ovoïde, c'est-à-dire dont les trois dimensions sont comparables : ce sont les amas.

L'amas est dit *debout*, si le grand axe est sensiblement vertical ; il est dit *couché*, si le grand axe est presque horizontal. Au point de vue de leur formation, les amas se rapprochent tantôt des couches, tantôt des filons. Dans le passage d'un filon au travers d'une couche très facilement altérable, il se produit des amas éruptifs dont la racine se retrouve en profondeur.

Au contraire, un amas sédimentaire n'est en général que l'une des parties d'une couche en chapelet, séparée de ses voisines ; souvent aussi, l'amas provient du remplissage par le haut d'une cavité résultant d'érosions.

Nous devons également signaler des amas d'origine mixte, résultant d'un épanchement à la surface du sol de substances fondues ou dissoutes venant de l'intérieur de la terre.

D'autres amas, désignés sous le nom de *Stockwerks*, proviennent de la ramification d'une substance utile au travers d'une roche : tels sont, par exemple, certains gisements de bioxyde d'étain.

Un amas peut se présenter en *rognons*, *nodules* ou *concrétions;* il est alors composé d'une substance qui s'est d'abord répandue d'une manière uniforme, mais qui, par suite de divers

mouvements moléculaires, s'est divisée, pour se rassembler en une série de petits amas; nous citerons comme exemples d'une semblable formation : les silex, les noyaux de galène que l'on rencontre dans le trias, les boules de pyrite et les rognons de fer carbonaté lithoïde répandus dans le terrain houiller.

CHAPITRE II

RECHERCHES

Les questions les plus délicates qu'ait à résoudre un ingénieur des mines nous paraissent être de déterminer : 1° si un gîte à peine exploré mérite la dépense de recherches supplémentaires; 2° si un gîte exploré vaut la peine d'être mis en exploitation; 3° s'il convient au contraire de l'abandonner sans esprit de retour. La plus grande sagacité, le flair le plus pénétrant, la prudence la plus minutieuse ou quelquefois une certaine audace sont des qualités à mettre tour à tour en œuvre dans ces circontances.

INDICATIONS DIVERSES

Les gîtes minéraux peuvent affleurer au jour ou se dissimuler sous des morts terrains ; dans le second cas, c'est par l'opération du sondage que l'on doit les étudier ; dans le premier cas, la recherche peut être faite suivant diverses indications que nous allons d'abord examiner.

Les affleurements ont été étudiés souvent, et surtout autrefois, au hasard; aujourd'hui, les recherches sont faites méthodiquement; elles nécessitent de la part de ceux qui s'y livrent du flair, de la sagacité et surtout la connaissance de la géologie.

Indications géologiques. — La géologie nous apprend l'ordre habituel de superposition des terrains sédimentaires; si l'on recherche en un point, par un sondage, le terrain houiller par exemple, on devra s'arrêter dès que l'on arrivera à un terrain plus ancien; mais ce principe peut subir des exceptions dans les *renversements* de terrain ou dans les *rejets*.

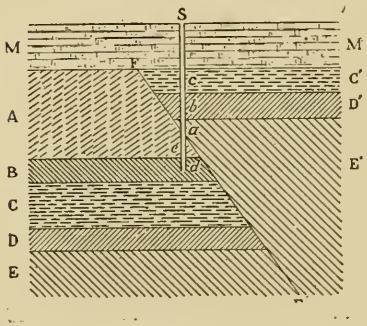


Fig. 5.
Inversion des terrains par rejets.

C'est ainsi, par exemple, que l'on trouve, dans le bassin franco-belge, le terrain houiller au-dessous du calcaire carbonifère plus ancien. (Voyez à la page 301 une coupe verticale de ce bassin.)

Un sondage pratiqué dans un terrain normal indiquera une série de couches que l'on trouvera en ordre contraire dans une autre partie renversée.

Les *rejets* du terrain amènent parfois sur une même verticale des superpositions interverties; ainsi, dans un terrain formé des couches ABCDE (fig. 5) et d'un terrain mort M, une faille F peut remonter le toit et donner la formation C'D'E' avec suppression par érosion des couches A'B' sous le mort terrain; un sondage S rencontrera les terrains dans un ordre différent de leur ancienneté; aussi, si l'on n'était pas prévenu de ce phénomène, pourrait-on être conduit à des méprises dans la recherche d'un terrain B qui au premier abord ne semblerait pas exister alors qu'il existe réellement.

On est souvent guidé dans la recherche des gîtes par la présence de ceux qui sont déjà connus. Le bassin belge et celui de la

Sarre, visibles à découvert dans une grande étendue, se prolongent à l'ouest sous des morts terrains qui les masquent. Les gisements de plomb de Pontgibaud se prolongent sur 30 kilomètres de longueur.

La rupture de l'écorce terrestre a amené des éclatements parallèles qui se sont minéralisés de la même manière, en donnant naissance à un groupe de filons; une galerie dirigée normalement à la direction d'un premier filon reconnu en fera souvent découvrir d'autres semblables. Il en est de même pour les formations sédimentaires : une couche de combustible, par exemple, est presque toujours accompagnée de gisements parallèles.

Les *indications archéologiques* peuvent être utiles, mais il faut ne leur accorder confiance qu'avec beaucoup de circonspection. Des noms tels que : Ferrière, Minière, Calaminière, Argentière, Aurière, Plombière devront éveiller l'attention des chercheurs. Les restes d'anciennes exploitations, tas de gangues ou de scories fournissent un renseignement encore meilleur. Là où les anciens ont dû s'arrêter, les progrès de l'art moderne peuvent conduire à une reprise ou à une poursuite utile des travaux.

On devra tenir le plus grand compte des *indications minéralogiques*. La présence de fragments de matières utiles (galène, pyrite, étain oxydé roulé, imprégnation de vert-de-gris sur des calcaires) ou des gangues, qui les accompagnent d'habitude, met sur la voie de découvertes importantes. Ces recherches se font dans les *thalwegs* en suivant le lit des torrents, car la pesanteur et l'entraînement des eaux y amènent les minerais. Quand on cherche des mines de houille, la rencontre d'empreintes végétales constitue un bon indice.

Les sources salées décèlent souvent des dépôts de sel dans le voisinage; des eaux ocreuses indiquent des gîtes de fer ; des gouttelettes de mercure annoncent un gisement de cinabre; c'est ainsi que la présence d'un peu de mercure natif dans les eaux d'une fontaine a révélé, en 1497, l'existence du gisement d'Idria (Carniole). On trouve aussi quelquefois le pétrole en gouttelettes dans les

eaux naturelles. Un excellent témoin gazeux est l'hydrogène carboné, qui indique des gîtes de combustibles minéraux, de pétrole et parfois de sel.

Signalons aussi les *indications magnétiques* qui, dans les recherches d'oxyde de fer magnétique ou de pyrites nickelifères, ont été d'un utile secours, par l'emploi de la boussole, du magnétomètre de *M. de Thalen*[1] ou du révélateur électrique de *M. MacEvoy*[2].

Lorsque le gîte est découvert, il faut tout d'abord jalonner son affleurement et creuser, entre les points qui sont trop éloignés, des petites tranchées, de manière à le suivre dans l'intervalle. On procède alors de la manière suivante aux travaux de recherches, en se conformant aux prescriptions administratives que nous avons fait connaître au chapitre précédent.

TRAVAUX DE RECHERCHES

Trois cas généraux peuvent se présenter au début d'une exploration.

I. — Si le gisement est dans le flanc d'un coteau et sensiblement parallèle à la vallée, on l'attaque par une galerie placée aussi bas que possible, mais néanmoins au-dessus des plus hautes eaux connues ; on marche normalement à la recherche du gîte en profondeur, en montant en pente très douce pour assurer l'écoulement des eaux et faciliter la sortie des wagonnets. Cette galerie, dite *à travers bancs,* permet de bien mesurer la largeur du gîte et de découvrir ceux qui lui sont parallèles.

II. — Le gîte, tout en étant à flanc de coteau, peut être transversal à la vallée ; dans ce cas, on l'attaque en galerie, le plus bas possible, et on marche en suivant le gisement en direction, en

1 et 2. Voir le *Cours d'exploitation des mines* de M. Haton de la Goupillière, t. Ier, p. 15 et 16.

tenant de préférence cette galerie, dite d'*allongement* ou de *direction*, au mur qui restera plus stable que le toit lors de l'exécution des travaux. Cette galerie a l'avantage de bien explorer le gîte, tout en étant rémunératrice, surtout si l'on obtient un permis de vente (chapitre 1er) pendant les travaux de recherche.

III. — Si, au contraire, la disposition du gisement est telle qu'on ne puisse pas trouver, dans le voisinage, de points assez bas pour l'attaquer horizontalement, on peut employer deux moyens : l'un consiste à exécuter une *fendue* ou *descenderie*, c'est-à-dire une galerie inclinée qui devient un *puits incliné*, quand le pendage est absolument raide; l'autre consiste à foncer un puits vertical qui recoupera le gîte et ceux qui lui seraient parallèles.

Une fois le gîte rejoint, on l'explore : 1° par des galeries d'allongement, situées à divers niveaux; 2° par des montages les reliant entre eux et facilitant l'aérage; 3° par des travers-bancs recherchant des gîtes parallèles.

En suivant la couche ou le filon par une galerie de direction, on peut tomber dans une faille; nous avons indiqué au chapitre précédent les conditions qui en résultent, et la façon dont il faut traverser la faille.

Les recherches par puits verticaux à faible section constituent les *sondages*, dont nous devons parler avec quelque détail.

SONDAGES

Sondage ordinaire. — Le forage ou *sondage* est le percement d'un trou cylindrique vertical, descendant quelquefois à 1000 mètres et au delà au sein de la terre. Le diamètre du trou, en général très faible, peut cependant atteindre 5 mètres. Le trou foré est généralement plein d'eau qui a l'avantage de rafraîchir la sonde et de délayer la roche percée, tout en diminuant le poids de la tige et de l'outil.

La figure 6, empruntée au catalogue de M. Paulin Arrault,

donne une bonne disposition d'ensemble pour un important sondage.

L'équipage de sonde demande à être étudié dans tous ses dé-

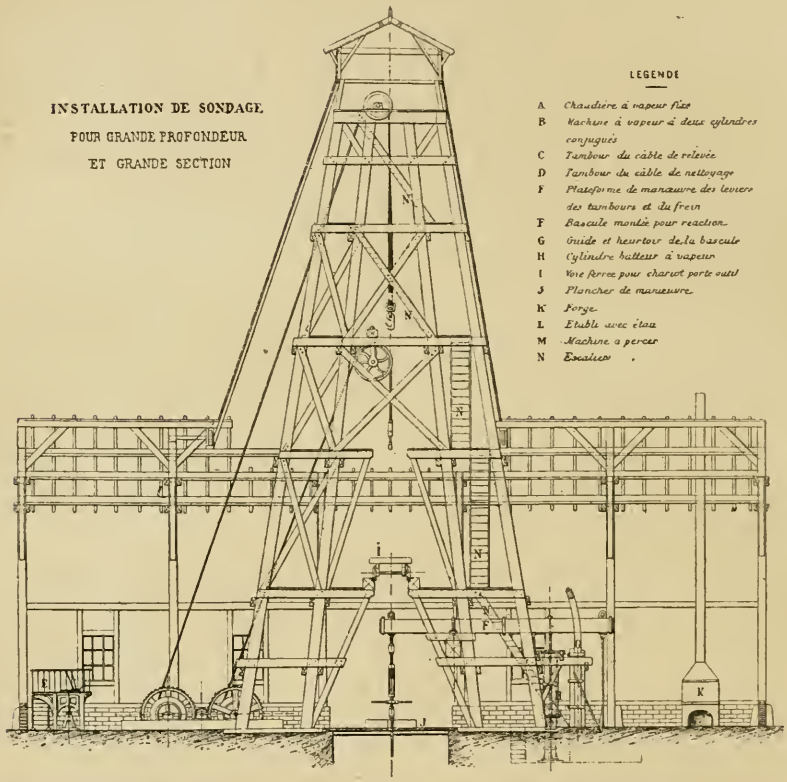


Fig. 6. — Installation de sondage pour grande profondeur et grande section.

tails; en partant du bas, on trouve successivement l'*outil*, le *joint*, la *tige*, la *tête* et l'*engin extérieur*.

Outil. — Considérons d'abord l'hypothèse où l'attaque est faite par un battage contondant ou tranchant. Dans le premier cas, la roche est concassée au moyen du *casse-pierres* ou *bonnet carré*,

qui consiste en une massue. Dans le second, l'outil tranchant prend le nom générique de *trépan*.

Le *trépan* est une sorte de couteau en acier, trempé à basse température ; on le fait tourner d'un certain angle après chaque coup. Le *trépan à téton* est muni d'une amorce centrale qui facilite l'attaque. Le trépan peut aussi être pourvu d'oreilles latérales qui alèsent le trou. Quand le diamètre du trou est un peu considérable, on se sert du *trépan composé,* formé de plusieurs couteaux ou trépans élémentaires.

On emploie aussi de nombreux outils, agissant par rotation à la façon des vrilles. *La tarière à talon* retient par son talon et ramène au jour les matières qu'elle a enlevées par rotation.

Curage. — Le curage de la partie inférieure d'un trou de sonde peut s'effectuer au moyen de la tarière à talon, mais en général le curage est fait par la *cloche à soupape* avec laquelle on sonne de haut en bas pour y faire entrer les matières délayées dans l'eau. Pour des sondages de faibles diamètres, on fait usage de la *cloche à boulet,* constituée par un cylindre d'un diamètre voisin de celui du puits et dont l'orifice inférieur est fermé par un boulet parfois entouré d'arceaux. En sonnant sur le fond, la cloche s'emplit des matières cassées ; elle les remonte ensuite.

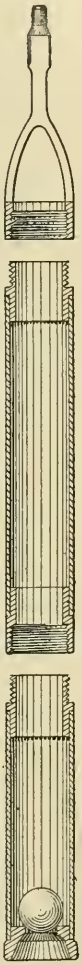


Fig. 7. Cloche à boulet.

Joint. — Autrefois, on assemblait l'outil à la tige en vissant, dans la douille de la dernière rallonge de celle-ci, la vis de l'outil ; ce système n'aurait jamais pu permettre d'exécuter des forages à grande profondeur, la tige devant, dans ce cas, forcément se voiler, c'est-à-dire subir des courbures. Il a fallu chercher un joint laissant une certaine indépendance entre la tige et l'outil ; ce joint, dit à *chute libre*, empêche les chocs de se transmettre à la tige. Le joint à *coulisse d'Œynhausen* est le plus

ancien des dispositifs usités, sa grande simplicité en fait le mérite. Avec cet appareil, dans le mouvement ascendant, l'outil est soulevé, tandis que la tige continue encore à descendre quand l'outil choque le fond du trou. On arrête un peu plus tard la tige de plusieurs manières.

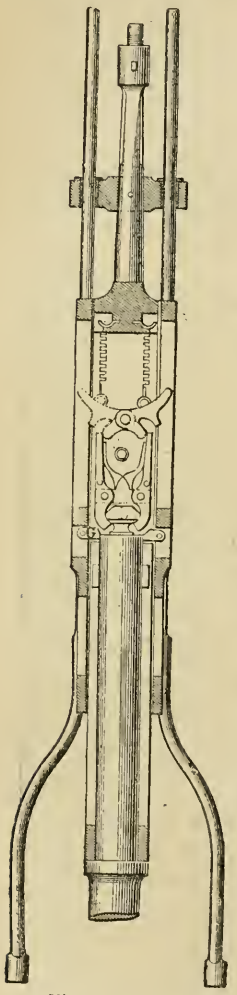


Fig. 8. — Joint Laurent et Degousée.

Un autre dispositif, connu sous le nom de *joint Laurent et Degousée,* modifié par Lippmann, est aujourd'hui très employé. M. Haton de la Goupillière le compare très justement à « une main qui lâcherait à un certain moment le trépan en le laissant retomber pour aller ensuite le saisir au fond du trou, le relever au même niveau et l'y lâcher de nouveau ».

M. Dru a imaginé aussi un joint à chute libre, dit *coulisse à pression d'eau,* qui présente un grand intérêt, et qui est décrit par le même auteur (*Cours d'exploitation des mines,* t. Ier, page 107).

Tiges. — Les tiges doivent être identiques, de manière à pouvoir être prises dans un ordre quelconque ; elles doivent être bien rectilignes et présenter la plus grande longueur possible, afin de diminuer le nombre des assemblages.

Les tiges peuvent être en fer plein, en bois, en fer creux ou en corde.

Les tiges en fer plein, doux et nerveux, sont à section carrée, octogonale ou ronde, d'une longueur qui atteint 12 mètres. On les assemble à *enfourchement,* ce qui permet un mouvement de rotation dans les deux sens, mais a l'inconvénient de nécessiter, pour la réunion, des boulons

qui peuvent tomber, ou bien *par un pas de vis*, ce qui est plus simple, mais oblige à ne tourner les tiges que dans un sens déterminé, au risque de les dévisser.

Quant aux tiges en bois, elles sont en sapin de droit fil et munies d'armatures en fer avec assemblage à vis ; ces tiges pèsent peu dans l'eau.

Les tiges en fer creux ont sur celles en fer plein l'avantage de présenter plus d'aplomb à poids égal, elles sont malheureusement coûteuses et encombrantes; mais elles permettent d'injecter par la partie centrale de l'eau sans pression, afin de nettoyer le fond du trou.

On emploie aussi des cordes en chanvre ou en fil de fer qui sont légères et ne nécessitent ni montage ni démontage ; en adaptant une hélice à l'outil, on le fait tourner pendant sa descente.

Ce procédé manque de précision et est aujourd'hui rarement employé, sauf pour opérer le curage avec la cloche à soupapes.

La tige est maintenue, de distance en distance, dans l'axe du trou de sonde par des *guides;* ce sont des cages à claire-voie, un peu moins larges que le trou. Chaque guide peut se déplacer à frottement par rapport à la tige, entre des arrêts distants de 2 ou 3 mètres. On adapte, de plus, à chaque rallonge de la tige un parachute, sorte de parapluie en cuir qui s'ouvre pendant la descente.

Tête de sonde. — La tête de sonde, qui relie la tige à l'engin extérieur, est formée d'un étrier portant un boulon auquel est suspendu l'écrou dans lequel on visse la partie supérieure de la première tige. La tige, reliant l'écrou au boulon, est percée de deux trous dans lesquels entrent des manches de manœuvre perpendiculaires l'un sur l'autre; ils permettent à la tige de tourner sur elle-même, l'étrier conservant son orientation dans l'espace. L'étrier se suspend au câble servant pour le battage ou à la chaine du treuil destiné à élever l'outil.

Engin extérieur. — La partie fixe de l'engin extérieur est quelquefois une simple chèvre en bois, mais le plus souvent un chevalement en charpente ayant la forme d'un tronc de pyramide

quadrangulaire et une hauteur égale à la longueur des tiges que l'on veut sortir d'un seul coup.

Dès le début, on fonce, sur une faible hauteur, un puits cuvelé et muraillé concentrique au trou de sonde pour traverser les terrains de surface ; on amorce le trou de sonde par un tuyau d'égal diamètre, que l'on a soin de dresser suivant la verticale, avec la plus grande précision possible.

Près du chevalement sont des constructions contenant un bureau où l'on tient avec soin un registre de toutes les opérations effectuées et où l'on conserve les échantillons des roches traversées; une forge pour bien entretenir les divers outils, un logement pour le gardien, etc.

La force motrice employée est au début celle de l'homme qui agit sur une manivelle à déclic ou bien sur une roue à marche; plus tard on se sert d'un manège mû par des chevaux, et enfin d'une machine à vapeur, dont l'installation a été faite au commencement du forage. On peut employer commodément une petite locomobile, mais le plus souvent on doit recourir à une machine analogue à celles en usage pour l'extraction, et sur lesquelles nous reviendrons au chapitre VII.

Quelle que soit la machine employée, elle a pour but de descendre ou de remonter les tiges, de faire l'attaque (battage et rodage) et le curage du fond du trou. Pour soulever la tige d'une certaine hauteur, on emploie un appareil dit levier de battage, dont la figure 9 représente un spécimen.

Au sommet du chevalement se trouvent placées deux poulies ou *molettes*, sur lesquelles s'enroulent en sens inverse deux câbles plats ou deux chaînes en fer. Ces chaînes, qui pendent verticalement au-dessus du trou, sont terminées par un S de suspension; à l'autre extrémité elles s'enroulent sur le treuil de la machine dans deux sens opposés, de manière que, quand l'une monte pour enlever la tige, le second crochet descende pour être prêt à la ressaisir au niveau du sol, en permettant une nouvelle ascension de la tige. Les tiges peuvent également être supportées par une clef de retenue

passant au-dessous de l'emmanchement de l'une d'elles; dans cette position on allonge ou raccourcit les tiges en vissant ou dévissant, au moyen d'un tourne-à-gauche, la tige supérieure.

Pour exécuter le battage à la machine, on fixe la tête de sonde à un cable plat que l'on enroule sur un secteur, et on donne à ce secteur, autour de son centre, un mouvement alternatif au

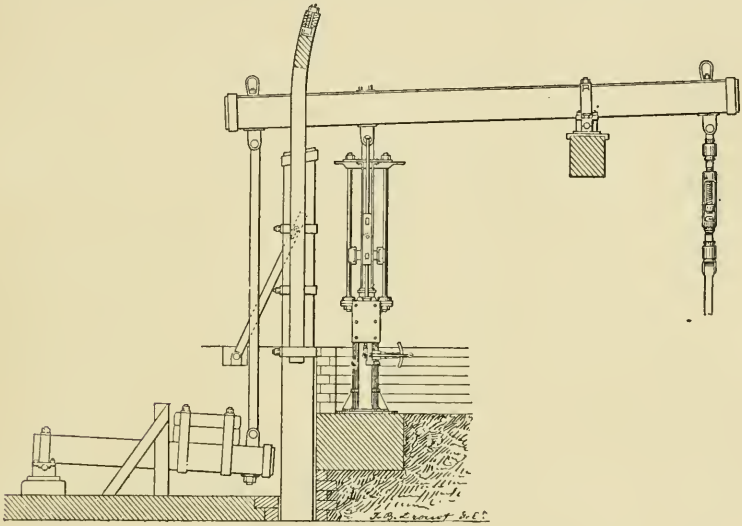


Fig. 9. — Levier de battage.

moyen de la machine; il faut avoir chaque fois la précaution de faire tourner la tige et le trépan d'un certain angle, en agissant sur les manivelles de la tête de sonde.

Le curage s'exécute rarement à la tige et avec la cuiller, mais généralement à la corde et avec la cloche à boulet. La corde s'enroule plusieurs fois sur un treuil spécial que la machine permet d'embrayer.

Tubage. — Il faut assurer la conservation du trou de sonde, ce qui oblige à le tuber lorsque les roches au milieu desquelles a lieu le forage sont susceptibles de foisonner sous l'action des eaux

ou de la poussée des terres, lorsqu'elles ne peuvent attendre sans s'ébouler, par exemple dans le cas de sables fins ou d'argiles coulantes, ou bien lorsqu'elles laissent détacher des minéraux non adhérents.

Les tubes peuvent être temporaires ou définitifs.

On a pu arriver à maintenir des sables pendant un temps suffisant en refoulant dans le trou de sonde de l'argile bien pilonée et en forant de nouveau avec une tarière à glaise.

Le tubage s'exécute également quand on se propose de rechercher et de faire arriver au jour des nappes liquides, eau ou pétrole par exemple, se trouvant à de plus ou moins grandes distances et dont l'ascension se produit au travers du tube par suite de la pression existante.

Les tubes sont parfois en fonte, mais généralement en tôle douce de fer ou en tôle galvanisée; le fer-blanc n'a pas donné de bons résultats; quant au cuivre, il est trop cher. Le bois a été assez souvent utilisé autrefois [1], notamment pour les puits artésiens; il est d'une bonne conservation, mais on n'y recourt plus guère parce qu'il est encombrant.

Les tubes sont introduits dans le trou de sonde par bouts dont la hauteur varie de 2 à 8 mètres; ils sont raccordés au moyen de manchons. On descend bien verticalement le premier élément du tubage et on fait l'assemblage avec le suivant, au moyen du manchon que l'on rive sur leurs extrémités. L'enfoncement nécessite des efforts variables suivant la nature du terrain; il se fait par rotation ou par pression. On peut procéder par chocs successifs d'un mouton qui vient battre sur un tambour en bois dur, placé sur la tête du tube supérieur; mais ces vibrations ébranlent les jonctions, aussi préfère-t-on recourir à une pression continue, très énergique, appliquée, sur la tête du tube à enfoncer, au moyen de vis de serrage.

1. Le plus ancien des puits artésiens de France, celui du couvent des Chartreux, à Lillers (Pas-de-Calais), a été foré en 1126 et fonctionne encore aujourd'hui sans qu'on ait eu besoin de refaire le tubage en bois.

On a souvent besoin de renfoncer une colonne déjà posée dans une nouvelle travée ; celle-ci est creusée d'abord avec un diamètre égal au clair de l'ancien tube, et il faut ensuite détruire une couronne de rocher égale à son épaisseur. Cette opération s'exécute au moyen d'un *élargisseur* (fig. 10) qui consiste en une paire de ciseaux qu'on ferme en faisant descendre un anneau enveloppant, et qu'on ouvre en faisant monter un coin intérieur.

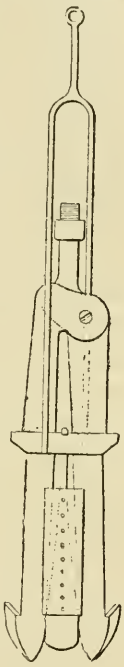


Fig. 10.
Élargisseur.

On peut avoir à retirer des tubes s'ils sont ovalisés par la pression, percés par l'oxydation ou déchirés par les instruments, ou bien si l'on veut élargir le trou de sonde, ou l'abandonner définitivement. On emploie à cet effet le crochet d'arrachage ou *l'arrache-tuyau Kind.* Si l'on n'arrive pas à retirer d'un seul coup toute la colonne, on la découpe en tronçons plus faciles à retirer séparément. Ce découpage se fait au moyen du *coupe-tuyaux :* c'est un cône armé de burins qui font saillie en pénétrant dans le métal quand on tourne dans un certain sens et, par une rotation inverse, rentrent à l'intérieur.

Accidents. — Le forage d'un trou de sonde s'effectue rarement sans de nombreux accidents ; ceux-ci sont de natures très diverses, mais la sagacité des ingénieurs semble avoir trouvé pour chacun d'eux les remèdes les mieux appropriés.

Résultats économiques. — Dans un sondage ordinaire, on admet qu'en moyenne le temps employé se répartit de la manière suivante :

Enlevage et descente des tiges.	14	pour 100
Battage	56	—
Curage	19	—
Accidents	11	—

L'avancement journalier du orage est d'environ 1 mètre,

mais il varie dans les plus larges mesures suivant la nature de la roche et suivant la profondeur.

Quant aux frais du sondage, ils dépendent de la dureté de la roche ainsi que du diamètre et de la profondeur du trou. Quand on fait un sondage dans le terrain tertiaire parisien pour aller trouver un niveau d'eau à 120 mètres de profondeur, on compte 40 francs par mètre, plus 60 francs pour le tubage. Si l'on fait un sondage de 600 mètres de profondeur dans un terrain houiller, on estime la dépense à 350 francs par mètre. Le sondage de Sperenberg, dont la profondeur est de 1272 mètres, et qui est presque entièrement dans du sel, n'a coûté que 167 francs par mètre.

Il semble qu'on obtienne des résultats plus rapides et plus économiques quand on peut employer le type canadien, caractérisé : 1° par l'emploi d'un trépan suspendu par une coulisse d'OEynhausen à des tiges de bois en frêne suspendues elles-mêmes par une chaîne au levier de battage ; 2° par un tubage en fer soudé ou étiré. Par ce procédé, M. Suszycki a fait en 90 jours, dont 70 de travail effectif, à Wietrzno (Galicie), un sondage de 225 mètres de profondeur avec $0^m,400$ de diamètre à la partie supérieure et $0^m,145$ à la partie inférieure.

Sondage au diamant. — Ce procédé, relativement nouveau, est excellent quand les roches sont dures, quand on veut aller vite sans regarder à la dépense et quand on veut avoir un échantillon complet du sondage. Il consiste à user la roche avec des diamants noirs (carbones) ou des diamants clairs défectueux (borts) rejetés par la joaillerie. Ce procédé perce jusqu'à 33 mètres par jour. Il conduit aux plus grandes profondeurs : à Schladebach, près Hall, *on a atteint* 1748 *mètres* de profondeur.

Les diamants sont disposés, sous la base et aussi sur la circonférence d'une pièce en acier appelée *bit,* soit par sertissage, soit en les enfonçant à la presse hydraulique ; ou, par le procédé Taverdon, en les enrobant, au moyen de la galvanoplastie, dans du métal qui s'use et laisse les diamants en saillie.

Le bit peut être plein ou annulaire. Le bit creux (fig. 11) ne

comporte de diamants que sur sa surface annulaire ; il laisse, pendant le forage, subsister suivant l'axe une colonne de rocher dite *carotte* ou *témoin* qui se loge dans son centre au fur et à mesure de sa descente. Le bit se visse à l'extrémité d'un tube carottier (fig. 12) d'une section presque égale à celle du trou et d'une hauteur atteignant 8 mètres ; le témoin prend place dans toute la hauteur de ce tube. Le tube carottier s'adapte à l'extrémité des tiges en fer creuses, dans l'intérieur desquelles on force de l'eau à pénétrer sous pression. Cette eau arrive à la base du forage, puis remonte dans le vide annulaire, qui reste autour de la tige, en entraînant à la surface toutes les farines produites par l'action sur la roche des diamants sertis dans le bit ; on donne à celui-ci un mouvement rapide de rotation autour d'un axe vertical. Par suite de ce mouvement, chaque diamant décrit au fond du trou une strie circulaire, mais les saillies qui se trouvent entre ces stries ont l'inconvénient de dessertir les diamants, qu'il faut aller repêcher avec un vieux bit entouré de glu.

Fig. 11.
Bit creux pour forage au diamant.

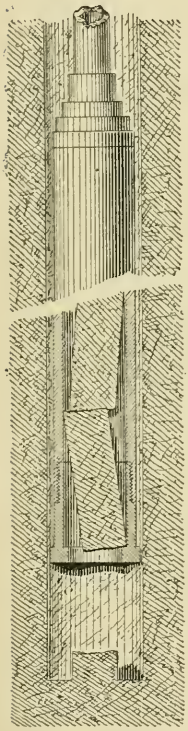


Fig. 12.
Tube carottier pour forage au diamant.

Vers la fin de l'opération, on laisse déposer les farines en arrêtant le courant d'eau, on imprime une rotation très rapide qui coince ces poussières et brise à sa base le témoin qui est retenu par un cran et remonté dans la position qu'il occupait au fond du trou. La rotation de la sonde (300 à 400 tours par minute) s'effectue au moyen d'un ingénieux dispositif, qui donne à la tige un mouvement hélicoïdal.

La petite perforatrice à main de M. Crœlius (fig. 13), d'Engelsberg (Suède), emploie également le diamant. Elle donne des résultats très rapides et très économiques qui la font recommander dans les recherches de mines. Ce modeste outil a pu creuser des trous de 70 mètres de profondeur.

Conduite des sondages. — Un sondage s'effectue pour arriver à une couche de minerai au sein de la terre; on l'exécute

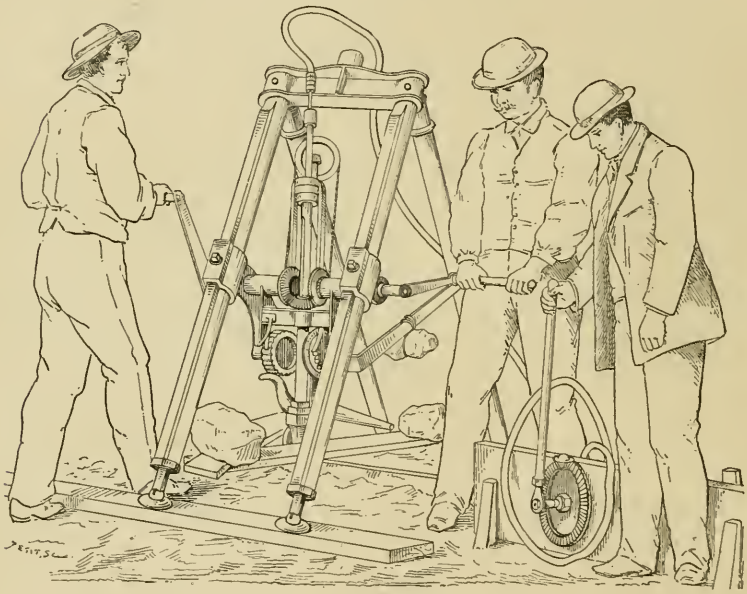


Fig. 13. — Perforatrice Crœlius.

aussi, en cas de puits artésiens, pour rechercher une nappe d'eau souterraine, pour trouver et exploiter un gisement de pétrole, ou pour reconnaître la solidité d'un terrain qui doit servir de base à des fondations.

Quand on fait un sondage au diamant, avec le bit annulaire, on ramène des témoins de toute la longueur du trou. Dans le sondage ordinaire, les matières provenant du fond sont examinées

après avoir été lavées avec une grande attention. Quand on croit avoir atteint la couche cherchée, on découpe, à l'aide d'un trépan en forme de cloche dentelée à la base, une carotte, destinée à servir de témoin; on la retire avec un *emporte-pièce*.

On peut avoir besoin de témoins rétrospectifs à une profondeur déterminée; on les obtient à l'aide du *vérificateur de sondage:* c'est un cylindre armé de griffes, qui peuvent rentrer ou sortir. On les fait sortir à la profondeur voulue et on tourne de manière à gratter les parois et à recueillir la poudre formée dans une poche faisant partie de l'appareil; en faisant rentrer les griffes par une rotation inverse, on remonte le tout.

Si l'on recherche du sel, la saveur de l'eau révélera sa présence. Pour prendre un échantillon de cette eau, on descend dans le trou de sonde une boîte munie, à sa partie inférieure et à sa partie supérieure, de deux soupapes solidaires, on les ouvre toutes deux de bas en haut, on remonte ensuite doucement.

On fait aussi des sondages au centre d'un puits, que l'on se propose d'approfondir sous stot, c'est-à-dire sous une couche laissée intacte, de manière à retrouver en dessous le prolongement de l'axe. Le fonçage des puits à travers des terrains aquifères d'après les procédés, que nous décrivons chapitre v, n'est autre chose qu'un vaste sondage.

Dans les mines, on fait également des sondages horizontaux quand on craint de rencontrer d'anciens travaux remplis d'eau, ou des sondages inclinés pour l'évacuation des eaux dans un étage inférieur.

CHAPITRE III

EXPLOITATION

AMÉNAGEMENT GÉNÉRAL

L'exploitation d'une mine doit être établie, non pas dans le but d'obtenir des résultats immédiats, mais en vue d'une exploitation « faite en bon père de famille ». Il faut surtout réserver l'avenir.

D'après M. Devillaine[1], « une méthode médiocre, mais pratiquement observée, présente, d'ailleurs, plus d'avantages qu'une méthode théoriquement excellente, mais imparfaitement appliquée ». M. Harmet[2] s'exprime à peu près de même à ce sujet : « On pourrait dire que toutes les méthodes d'exploitation sont bonnes, pourvu qu'elles soient régulièrement et rigoureusement appliquées, et si elles satisfont aux trois conditions suivantes : bon aménagement et épuisement complet du gîte, protection et sûreté de l'ouvrier, enfin prix de revient réduit. »

Il est bon d'avoir, dans une excavation souterraine, le plus grand nombre possible d'accès par puits ou galeries, de façon à faciliter l'exploitation et à assurer la sécurité des ouvriers. En France, la circulaire ministérielle du 1er mars 1887 recommande aux préfets de prendre des arrêtés pour obliger toute exploitation souterraine importante à avoir au moins deux communications avec le jour,

1. *Notice sur la Société anonyme des houillères de Montrambert et la Béraudière.*
2. *Exploitation des couches puissantes.* (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-Étienne*, 1re série, t. IV.)

distantes de plus de 10 mètres. En Angleterre et en Belgique, on exige même, pour les mines à dégagement instantané de grisou, trois puits débouchant à l'air libre hors des bâtiments des machines. Dans toute mine, munie de deux puits au moins, on doit disposer l'aérage de façon que l'air entre et sorte par deux puits différents.

L'emplacement des puits doit être étudié avec la plus grande attention, en tenant compte des conditions d'ordre intérieur et également de celles d'ordre extérieur, afin de faciliter l'écoulement des produits extraits; aussi se place-t-on le plus souvent sur un point culminant. Il faut avoir à proximité les emplacements nécessaires aux déblais ou des carrières susceptibles de fournir les remblais; on doit également pouvoir s'approvisionner facilement d'eau convenable pour les chaudières des machines à vapeur.

En se mettant dans le mur d'un gîte incliné, on obtient une meilleure conservation que dans le toit, qui est susceptible de bouger, par le fait même de l'exploitation que l'on a en vue. Quand on le peut, il faudra se mettre à la fois dans le toit et dans le mur, de manière à diminuer le développement des travers-bancs, qui partent des divers accrochages pour rejoindre le gisement.

Le rayon du champ d'exploitation dépend de la régularité du gisement et des habitudes locales. En France, il est en moyenne de 500 mètres. En Angleterre, il dépasse souvent 2000 mètres.

Pour rendre minimum l'ensemble des dépenses de fonçage de puits et de roulage à l'intérieur, le calcul démontre qu'il faut que le nombre des puits soit en *raison inverse de la puissance* $\frac{2}{3}$ *de la profondeur*. Trois mines, analogues d'ailleurs, profondes de 40, 320 et 1080 mètres, devront avoir respectivement 36, 9 et 4 puits.

Division en étages et en sous-étages. — On divise le gîte en étages qui ont des hauteurs très variables depuis 10 jusqu'à 100 mètres.

Chaque étage est desservi par un travers-banc horizontal partant du puits à la hauteur de l'*accrochage* et se dirigeant vers le gîte perpendiculairement à la direction de celui-ci; à l'endroit où

l'on atteint le gîte, on trace ensuite deux galeries d'allongement ou *voies de fond*, dirigées dans les deux sens et traversant les failles qui se rencontrent. La partie du gîte comprise entre ces galeries et celles immédiatement supérieures constitue l'étage, que l'on est amené assez souvent à subdiviser en sous-étages ou tranches par des galeries d'allongement intermédiaires, où le roulage se fait par les hommes, tandis que, dans la voie de fond, il est exécuté par des chevaux ou des moyens mécaniques.

L'étage est aussi divisé en *lopins* au moyen de galeries inclinées appelées *montages*, qui servent à l'aérage et relient la voie de fond à celle de l'étage supérieur.

L'exploitation consiste dans l'agencement des tranches et lopins et dans la manière dont on *prend* la substance que l'on veut extraire; elle dépend naturellement des qualités du gîte et notamment de sa puissance, de son inclinaison, de sa solidité et de la constance de sa richesse.

Les gîtes se divisent en *gîtes minces* et *gîtes puissants*. Les gîtes moyens ont en général une puissance de $2^{m},50$. La solidité du toit présente une grande importance dans un gîte horizontal, de même que la solidité du gîte s'il est sensiblement vertical. La constance de la richesse dans un gîte donne aux chantiers un caractère d'uniformité, qui se trouve dans les houillères anglaises, par suite de la bonne tenue des couches. Quand la richesse du gîte est variable, elle impose aux ingénieurs de plus grandes difficultés, et les oblige à faire un traçage à petites mailles.

Il faut avant tout mener les travaux avec prudence et économie, en cherchant à obtenir une production aussi constante que possible.

Au point de vue de la sûreté, il faut éviter les éboulements, se préoccuper du danger d'incendie et des coups de grisou, avoir des ateliers indépendants les uns des autres et condenser chacun d'eux dans le plus petit espace possible, pour faciliter la surveillance. Au point de vue de l'économie, il faut réduire la proportion des traçages à l'avantage des dépilages, n'avoir que des vides restreints qui ne nécessitent pas des bois exceptionnels, avoir le moins

possible de galeries permanentes, et les entretenir en très bon état. Au point de vue de la constance, il est bon de tracer toujours des parties nouvelles du gisement et de conserver des réserves, afin de n'être jamais pris au dépourvu.

EXPLOITATION A CIEL OUVERT

On exploite avec grand avantage à ciel ouvert les gîtes minéraux qui se trouvent à une proximité suffisante du sol naturel.

En général, le gîte exploité à ciel ouvert est pris par *gradins successifs* séparés par de petites banquettes. La hauteur du gradin, qui habituellement varie de $1^{m},50$ à 3 mètres, peut quelquefois dépasser 15 mètres; son inclinaison, qui est presque verticale dans les roches très dures, descend à 35° sur l'horizontale dans les gisements de sable. Dans une même carrière, l'inclinaison doit être moins raide pour les gradins inférieurs que pour les gradins supérieurs, à cause de la poussée des terres.

Cette méthode s'applique dans les cas suivants :

Dépôt horizontal sans grand recouvrement. — On prend très simplement la matière utile par tranchées successives.

Dépôt d'alluvion au fond d'une vallée (alluvions d'or, d'étain, etc.). — On commence par barrer le cours d'eau en amont à un niveau suffisant et par le conduire par un chenal artificiel jusqu'en aval des travaux; il ne faut jamais abandonner un quartier avant qu'il ne soit épuisé en entier.

Affleurement d'un gîte horizontal dans une vallée d'érosion. — Le découvert nécessaire est fait, avec un talus convenable, au-dessus du gîte, et on dépose en dessous les déblais qui en proviennent.

Affleurement d'un gîte incliné. — Les découverts nécessaires fournissent des déblais, que l'on met où l'on peut.

Dépôt horizontal avec un fort recouvrement. — On trace successivement des ouvrages parallèles, en logeant les déblais d'un ouvrage dans les vides de l'ouvrage précédent.

Les procédés d'extraction à ciel ouvert sont très simples et nécessitent des appareils peu compliqués : le *treuil*, mis en mouvement au moyen de manivelles ou de roues à chevilles sur lesquelles l'ouvrier peut monter ; le *billon de conduite* et le *billon de rappel*.

Le billon de conduite (fig. 14) consiste en un câble fixé au fond de l'excavation et à la surface du sol ; il a pour but de guider une petite poulie à laquelle est suspendu le minerai.

Le billon de rappel (fig. 15), fixé au bord de l'excavation, y des-

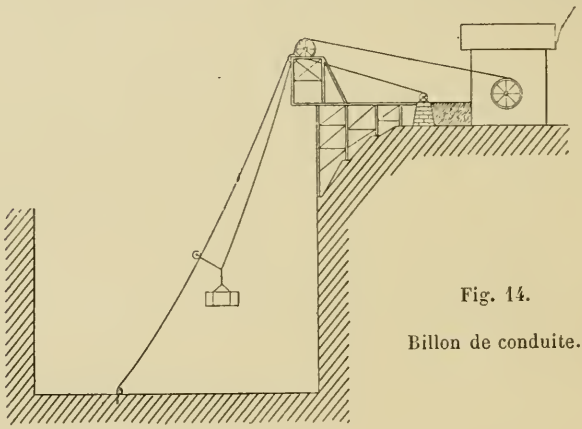


Fig. 14.

Billon de conduite.

cend, supporte le minerai qui est remonté à la surface par traction du cable.

L'excavation à ciel ouvert est le mode le plus habituel d'exploitation des carrières. Il existe en France près de 30 000 carrières à ciel ouvert, occupant environ 100 000 ouvriers.

Les mêmes procédés s'appliquent également dans certains cas aux mines. Parmi les exemples les plus importants, nous pouvons citer les mines de salpêtre du Pérou, les gisements de guano du Chili et du Pérou, les sables platinifères de Russie, la plupart des placers aurifères, les gisements d'étain de Perak (Malacca), les mines de fer de Sommorostro (Espagne), de Mokta-el-Hadid (Algé-

rie), les mines de pyrite cuprifère de Rio-Tinto, les mines de diamant du Cap, etc.

Exploitation des tourbières. — La tourbe est le terme le plus récent des formations de combustible minéral ; dans certains bassins cette formation continue encore à se produire. Son exploitation ne peut être faite que par le propriétaire du sol ou moyennant son consentement. Mais il faut à l'extracteur une autorisation administrative ; l'exploitant doit payer une patente spéciale et se soumettre à la surveillance du service des Mines. Certaines tourbières présentent une puissance de plus de 5 mètres.

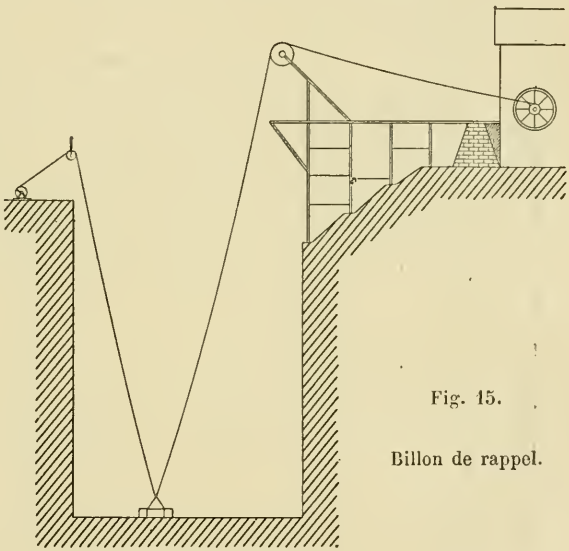


Fig. 15.

Billon de rappel.

Si la couche de tourbe est à sec, ou peut y être mise, on opère avec le *petit louchet*, sorte de bêche munie d'un aileron, qu'on manœuvre en l'enfonçant un peu obliquement avec le pied et en tirant des pointes de tourbe d'un décimètre carré de section et de 30 centimètres de hauteur. On arrive à prendre toute la tourbière par des séries linéaires successives et superposées de pointes contiguës.

Si la disposition des lieux ne se prête pas à l'épuisement de la couche d'eau, on fait usage du *grand louchet*, représenté figure 16, et imaginé, en 1789, par Éloi Morel, tourbier à Thézy-Glimont (Picardie). C'est un outil coupant, muni de deux rebords et porté

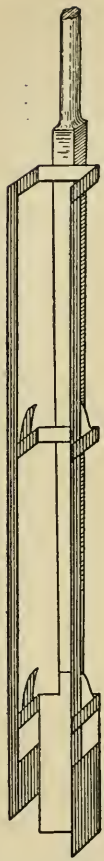


Fig. 16.
Grand louchet.

par un long manche qui a souvent plus de 5 mètres ; il enlève des prismes de $0^m,90$ à $1^m,20$ de hauteur que l'on coupe en trois ou quatre pointes : cet instrument demande à être solide et à être habilement manœuvré.

Dans certaines tourbières, on emploie de *très grands louchets,* portés par une chèvre mue à la main, qui enlèvent mécaniquement de très grands prismes de tourbe.

A Marœuil-sur-Ourcq (Oise), l'appareil qui remplace le louchet se compose d'un bac rectangulaire, d'une machine à vapeur de six chevaux, d'un arbre moteur à marche renversable, installé sur un des grands côtés du bac, et de deux louchets actionnés par cet arbre, placés aux bouts du bac, et enlevant des prismes de $0^m,25$ de côté et de 1 mètre de haut.

Souvent les eaux sont trop profondes pour permettre l'emploi du louchet ; dans ce cas on fait usage de la drague du tourbier, qui permet de puiser, dans une sorte de poche en treillis, la tourbe à l'état de bouillie. On manœuvre cette drague à bord d'un bateau dans lequel on verse la tourbe en bouillie que l'on dépose ensuite sur le rivage.

Au point de vue de la salubrité, la plupart des règlements locaux exigent qu'une tourbière exploitée soit constamment à sec ou constamment recouverte d'au moins $0^m,50$ d'eau.

EXPLOITATION SOUTERRAINE

Les méthodes d'exploitation souterraine reposent sur l'un des trois principes suivants : 1° *abandon des massifs*, 2° *foudroyage*, 3° *remblai.*

Avec le principe de l'abandon on ne pratique que les vides dont le gîte est susceptible au point de vue de sa solidité, en laissant sous le toit des *estaus* (fig. 17) qui le soutiennent; avec le foudroyage on prend tout le gîte et on laisse tomber le toit; le remblayage coûte cher, mais il remédie à la fois aux inconvénients d'un éboulement prématuré et à la perte d'une partie du gisement.

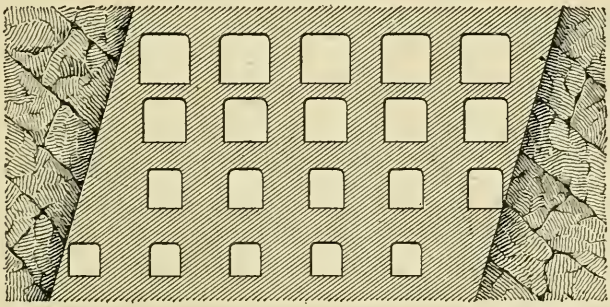


Fig. 17. — Piliers et estaus.

Abandon des massifs ou piliers abandonnés. — Ce principe fort simple ne peut s'appliquer que dans le cas de gisements dont la substance minérale ne présente qu'une faible valeur. Il a l'avantage d'assurer la bonne conservation de la superficie et d'empêcher l'introduction des eaux extérieures [1].

Un gisement horizontal ou peu incliné, de puissance moyenne, peut être pris en une seule tranche; mais généralement on opère sur plusieurs étages, en laissant entre eux des estaus. A chaque étage on conserve des massifs isolés, dits piliers, qui se superposent aux divers étages; ces piliers sont des colonnes qui supportent le toit, ils peuvent s'allonger de manière à former des cloisons qui séparent des vides appelés chambres.

Les piliers proprement dits sont de forme approximativement carrée, ils sont disposés régulièrement (fig. 18) et présentent pour

1. Houillères sous-marines de Whitehaven (Cumberland). M. Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation des mines*, t. Ier, p. 412.

le roulage deux systèmes de voies rectangulaires. Lorsque le toit est fissuré, on le soutient par des files intermédiaires de piliers qui présentent la disposition de la figure 19 et ne laissent plus subsister qu'un seul système de voies.

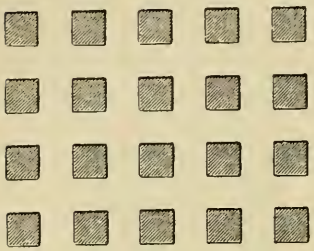


Fig. 18. — Piliers tournés (double voie).

Les piliers longs sont généralement établis dans la direction du gîte; au lieu d'être rectilignes, ils peuvent présenter une forme dentelée en décrochements.

Les cloisons décomposent le gisement ou en chambres souterraines isolées et nécessitant chacune un puits, ou en chambres communiquant entre elles.

La méthode des piliers est très fréquemment employée dans les mines et surtout dans les carrières souterraines.

A la *mine de fer de Rancié* (Ariège)[1], on laisse à chaque étage de gros piliers qu'on a soin de refendre en quatre avant d'abandonner l'étage. On ne peut prendre néanmoins que les deux tiers du gisement, mais les piliers finissent par s'effondrer et on revient au bout de dix ans reprendre les éboulements.

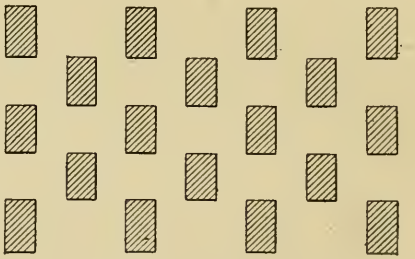


Fig. 19. — Piliers tournés (simple voie).

La méthode des piliers longs est appliquée pour l'extraction

1. Cette mine, concédée aux *habitants de sept petites communes* des Hautes-Pyrénées, est exploitée sous la direction d'un ingénieur du corps des mines, délégué de l'État, tuteur des communes. Elle a été l'objet de nombreuses études économiques très intéressantes, dont la conclusion habituelle est que les ouvriers qui y travaillent à titre de concessionnaires seraient probablement plus heureux s'ils se trouvaient dans les conditions habituelles. Les nombreux intermédiaires qui font passer le minerai des mains de l'extracteur à celles du métallurgiste prélèvent en effet un bénéfice considérable.

de l'*anthracite de Pensylvanie*. Ce terrain anthracifère[1], qui couvre 1400 kilomètres carrés, produisait déjà, en 1880, 27 millions de tonnes. Il comprend trois bassins principaux : chacun d'eux renferme au moins une dizaine de couches de 2 à 3 mètres d'épaisseur; une d'elles atteint même en certains endroits 20 mètres. Ces couches sont fortement relevées et plissées.

La couche est divisée en trois tranches dans chacune desquelles on fait de longues tailles en direction, en demi-pente ou en inclinaison, séparées par des piliers longs de 5 mètres d'épaisseur qu'on gratte en reculant, afin d'y prendre tout ce qu'on peut, jusqu'au moment où ils menacent de s'effondrer.

Foudroyage. — Dans le foudroyage on prend tout le gisement, mais on renonce à la conservation de l'excavation et on laisse tomber le toit après avoir extrait la matière utile et mis les ouvriers en sûreté.

Lorsque la solidité du toit permet de le maintenir, sans appui, sur une portée d'environ 3 mètres pendant quelques jours, et quand il ne tombe pas sans prévenir, le foudroyage simple est d'une bonne application. Dans le cas contraire, on soutient le toit avec des buttes de bois qui, en se fendillant, annoncent l'éboulement et qui le retardent assez pour assurer la sécurité des ouvriers; on enlève généralement ces buttes en les hachant du pied ou en les tirant avec des chaînes. Quand le toit est trop solide, on le fait tomber par des coups de mine.

Dans tous les cas, le foudroyage produit une augmentation de volume, un *foisonnement* de la matière qui tombe, par suite duquel le vide se remplit.

Cette méthode a l'inconvénient d'exposer les ouvriers à un certain danger, sans leur laisser toujours avant l'éboulement le temps de prendre tout le minerai; en outre, dans les charbonnages grisouteux, il produit des vides où s'accumule le mauvais air.

Dans les méthodes par foudroyage, il faut prendre les étages

1. M. Sauvage, *Annales des mines*, 7e série, t. VII, p. 222.

en descendant, afin de ne pas nuire aux tranches inférieures, et dépiler en reculant ou en battant en retraite à partir des limites du quartier. Par suite, les premiers piliers sont dépilés les derniers; aussi faut-il réduire les quartiers du champ d'exploitation, de manière à pouvoir, dans le traçage, atteindre promptement le périmètre.

Les gîtes minces s'exploitent par foudroyage, au moyen de *massifs courts* ou de *massifs longs.*

Massifs courts. — Dans le premier cas, on divise le quartier en un réseau de galeries rectangulaires à mailles serrées, plus ou moins voisines de la forme carrée, laissant des piliers tournés, et on dépile en retraite en partant de la périphérie.

Massifs longs. — On préfère souvent tracer des voies laissant entre elles des piliers longs disposés le plus souvent en direction, d'autres fois en inclinaison ou même en demi-pente.

Dans l'*est de la France* on emploie de la façon suivante le foudroyage pour l'exploitation, dans des *gisements d'oxyde de fer*, d'une partie de couche comprise entre deux voies de fond et deux plans inclinés : on trace à partir des plans inclinés un réseau de galeries dont l'ouverture est étroite, mais qui vont en s'élargissant et se rencontrent deux à deux en laissant entre elles des piliers longs. L'exploitation de ces piliers se fait par enlevures successives; on bat en retraite en partant du centre vers les plans inclinés, où on réserve un massif de protection.

Nous trouvons employé un procédé un peu différent dans le foudroyage de l'étage supérieur des mines de Lens [1]. La galerie de fond est tracée jusqu'à la limite du champ d'exploitation en réservant à l'extrêmité un pilier de 3 mètres. On dépile une enlevure de 3 mètres de large jusqu'au tourtia [2], puis on revient en

1. Ce procédé, qui dispense de creuser au niveau du tourtia une galerie d'accès du remblai, peut s'employer grâce à l'épaisseur et à la solidité des dyèves.

2. Le tourtia est un conglomérat étanche, appartenant à l'étage de la craie inférieure, et recouvrant le bassin houiller de Valenciennes en stratification discordante. (Voyez page 300.)

descendant à la galerie, en dépilant la partie réservée et en laissant le foudroyage s'étendre en amont sur la largeur de 6 mètres ; on opère ainsi successivement, en battant en retraite vers le puits.

Les gîtes puissants ne peuvent se prendre en une seule fois par foudroyage s'ils ont plus de 5 mètres ; cette limite a été atteinte à Roche-la-Molière; elle a été dépassée et poussée à 10 mètres, ce qui constitue une grave imprudence, par exemple dans les mines de houille de Staffordshire. En général, on découpe un gîte puissant en plusieurs tranches parallèles au gîte, s'il est peu incliné, ou horizontales, dans le cas contraire.

La *méthode inclinée* a été depuis longtemps appliquée aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire), aussi est-elle quelquefois appelée méthode de Blanzy. L'exploitation y porte sur trois couches inclinées séparées par des nerfs, on fait le traçage de manière que les ouvrages montants de ces couches aient une même projection horizontale; le dépilage se fait simultanément, en ayant soin cependant de battre en retraite plus vite dans la couche supérieure et moins vite dans la couche inférieure.

La *méthode horizontale* s'applique à des gisements quelconques et permet une facile circulation pour les chevaux ; comme applications, nous citerons les minerais de fer de Stahlberg (pays de Siegen) : le gîte y est puissant, solide et très incliné; on le divise en étages de 10 mètres de hauteur et on trace à la partie inférieure de chacun d'eux une galerie suivant le mur, et à partir d'elle et jusqu'au toit, des galeries transversales successives de 6 mètres de haut; on bat en retraite vers la galerie, en prenant la couronne et en laissant l'effondrement se produire en arrière.

Remblayage. — Lorsque la matière utile du gisement est d'un prix élevé, les méthodes d'exploitation par remblai sont celles qui conviennent le mieux : elles sont aujourd'hui très fréquemment employées, car elles permettent seules d'enlever avec sécurité la totalité du gisement. C'est un procédé coûteux, mais il assure une exploitation d'avenir, qu'on ne saurait trop recommander.

En général, on exploite en montant, au moins à l'intérieur de

chaque étage, de façon à avoir sous les pieds le remblai précédemment posé et sur la tête le gîte intact.

Les qualités d'un bon remblai sont de faire prise, d'empêcher l'introduction des eaux ou la propagation des incendies, de se tasser peu, et d'être à bon marché.

Les matières les plus diverses peuvent servir de remblai : l'argile, les galets de rivière, les gangues des filons, etc. Si l'on emploie des schistes bitumineux ou pyriteux fermentescibles et inflammables, il faut d'abord les griller à l'air.

La maçonnerie constitue un excellent remblai, mais d'un emploi très dispendieux, qui ne devient possible que dans les gisements d'un minerai exceptionnellement riche, tel que celui des mines de mercure d'Almaden. (Voyez chapitre XIV.)

Les sources de remblai sont des plus variées.

Le plus simple de tous les remblais utilisables est le stérile à pied d'œuvre, gangue des filons, nerfs intercalés dans les couches de houille, faux murs et faux toits, épontes sans solidité.

L'entaillement du toit ou du mur dans un gîte mince, le percement des travers-bancs et autres ouvrages au rocher fournissent des remblais économiques, ainsi que les déchets de la préparation mécanique, les laitiers, les scories, etc.

Souvent il faut, pour se procurer du remblai, le prendre dans les découverts des exploitations à ciel ouvert ou dans l'exploitation de carrières spéciales.

Citons également un remblayage exécuté dans certains cas spéciaux et qui consiste, pour économiser un remblai difficile à obtenir, à l'utiliser de proche en proche, au fur et à mesure de l'avancement en profondeur de l'exploitation.

L'introduction du remblai dans la mine s'exécute en le jetant dans des puits spéciaux, en l'y faisant descendre avec des freins fortement serrés, ou encore en le faisant servir de contrepoids au minerai qui monte. Le remblai introduit doit descendre dans la mine jusqu'à la place où on l'emploiera. Avant de le mettre en place, on dresse contre les parois de l'excavation des murs en

pierres sèches, et on le jette ensuite à la pelle, en opérant un fort bourrage. Un homme met en moyenne en place de 6 à 15 mètres cubes de remblai par jour.

Les méthodes fondées sur l'emploi du remblai peuvent se diviser en deux classes, suivant que l'on exploite des *gîtes minces* ou des *gîtes puissants*. Occupons-nous d'abord des gîtes minces, que nous diviserons en deux groupes suivant qu'ils sont voisins de l'horizontale, ou qu'ils se rapprochent de la verticale.

Gîtes minces voisins de l'horizontale. — Dans le premier cas, le remblayage se fait par grandes *tailles montantes*, *tailles chassantes* et *demi-pentes* ou *tailles inclinées*. On peut aussi opérer par petits chantiers successifs, qu'on attaque et remblaie à tour de rôle.

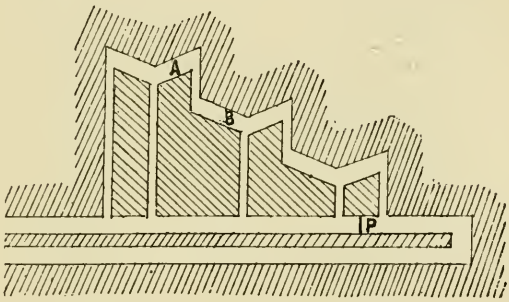


Fig. 20. — Grandes tailles montantes.

Grandes tailles montantes suivant la ligne de plus grande pente du gîte. Ce procédé est appliqué à Aniche de la manière suivante. On commence par établir un chassage comprenant une voie de roulage et un retour d'air, puis on branche successivement des grandes tailles montantes, en les traçant en retraite les unes sur les autres ; on remblaie derrière soi en suivant le front de taille, en réservant une voie montante pour la desserte du chantier. Une porte P force l'air à passer devant tous les fronts de taille AB... Les chantiers sont maintenus à une légère inclinaison en vue de faciliter le *boutage* du charbon, c'ést-à-dire son transport jusqu'à la voie de fond.

Le déhouillement peut s'avancer trop loin de la base d'opération; il augmente alors l'entretien des voies montantes qui s'allongent; dans ce cas, on ménage dans le remblai une galerie en

direction dite cross-gate, recoupant les voies montantes, que l'on abandonne à l'exception de quelques-unes d'entre elles, conservées pour l'évacuation dans la voie de fond des charbons venant du cross-gate.

Grandes tailles chassantes pratiquées suivant la direction du gîte. On trace une voie de fond et un plan incliné à partir duquel on mène des tailles chassantes disposées en retraite les unes sur les autres; on a soin de réserver, comme à Anzin, où cette méthode est appliquée, un massif de protection le long du plan incliné et de la voie de fond; on remblaie derrière soi en réservant des voies de *herschage*, c'est-à-dire de transport jusqu'au plan incliné.

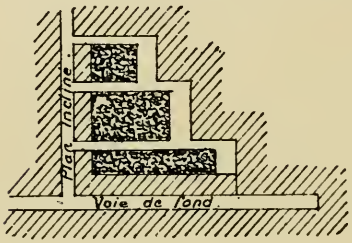


Fig. 21.
Grandes tailles chassantes.

Cette méthode offre l'inconvénient suivant : un même plan incliné dessert toutes les tailles et, s'il éprouve une avarie, tout le roulage est arrêté. Néanmoins on l'emploie de préférence à la méthode des tailles montantes, quand le gîte est très incliné, ou quand il s'agit d'une mine de houille grisouteuse.

Tailles inclinées. — On fait aussi quelquefois des tailles *diagonales*, dites tailles inclinées ou demi-pentes. Cette méthode permet de contrarier le sens des fissures du toit qui compromettraient la solidité des chantiers. Elle a été heureusement appliquée à l'exploitation des schistes bitumineux et cuivreux du Mansfeld. Cette formation est située à la base du terrain du *zechstein* et constitue une couche régulière d'environ 500 kilomètres carrés avec une teneur en général de 1 à 3 0/0 de cuivre contenant 5 kilogrammes d'argent à la tonne. Cette mine, ouverte depuis l'année 1119, est actuellement à la profondeur de 250 mètres. Sa puissance n'est que de $0^m,30$; le toit est solide; au mur on trouve un havrit stérile de $0^m,10$; on entaille en outre le vrai mur de $0^m,20$, de façon à obtenir une taille

de $0^m,60$; elle est exécutée à *col tordu*, procédé que nous décrirons dans le prochain chapitre. Le havrit et le mur donnent par le foisonnement une quantité de remblai trop grande : on est obligé d'en remonter une partie.

Voici comment se fait l'exploitation : au bas de l'étage on trace une voie de fond assez large que l'on remblaie en réservant trois galeries (fig. 22). La galerie inférieure sert à l'écoulement, elle a $1^m,30$ de hauteur; celle du milieu, qui a 2 mètres de hauteur, sert au roulage, et la galerie supérieure de $1^m,30$ de hauteur sert de retour d'air. Au fur et à mesure de l'avancement de cette costeresse, on pratique des tailles contiguës disposées en demi-pente ascendante sur une largeur de 60 mètres. Chaque front de taille de 60 mètres occupe 20 piqueurs. On remblaie les tailles en arrière au fur et à mesure qu'elles avancent, en réservant des voies au milieu du remblai.

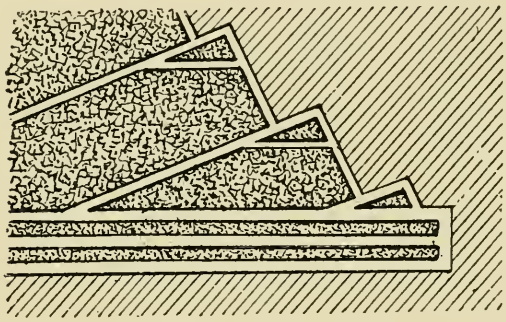


Fig. 22. — Tailles inclinées : schistes cuivreux de Mandsfeld.

Gîtes minces se rapprochant de la verticale. — Dans ces gîtes, on peut opérer par chasses étroites, comme à Pontpéan (Ille-et-Vilaine), où l'on exploite un filon sensiblement vertical de galène et de blende argentifères. On prend un massif compris entre deux chassages et deux puits inclinés par des chasses contiguës de bas en haut ; le remblai arrive par l'un des puits inclinés, le minerai sort par l'autre puits.

Dans certains charbonnages belges on emploie le procédé du *maintenage*, qui dérive du procédé par tailles chassantes décrit plus haut ; on a soin de réserver des cheminées dans le remblai.

Les méthodes les plus habituelles, pour les gîtes minces presque verticaux, sont celles des gradins droits ou renversés.

En gradins droits, on attaque un lopin compris entre deux voies de fond et deux montages par un de ses angles supérieurs. Nous citerons comme exemple les gradins droits d'Andreasberg (mines d'argent du Hartz) (fig. 23).

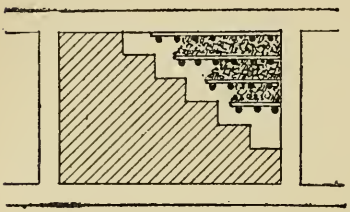


Fig. 23. — Gradins droits.

Chaque ouvrier construit, au-dessus de sa tête, un plancher sur lequel il rejette comme remblai le stérile abattu. Cette méthode peut s'exécuter en ouvrage double ; le lopin est alors attaqué en un point intermédiaire de la galerie supérieure. On y amorce une cheminée de laquelle on fait partir deux systèmes de gradins droits analogues à ceux de la figure 23.

Dans la méthode des gradins renversés, on attaque le lopin par un de ses angles inférieurs ; on a toujours, dans ce cas, le minerai sur la tête et le remblai sous les pieds. On peut aussi attaquer le massif par le milieu de la galerie inférieure, d'où l'on fait monter une cheminée qui sépare les remblais de deux exploitations symétriques (fig. 24).

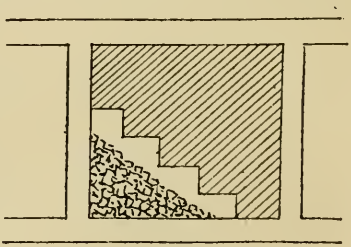


Fig. 24. — Gradins renversés.

La méthode des gradins renversés s'applique dans quelques charbonnages (Sablé (Sarthe), etc.) ; mais c'est surtout la méthode des filons.

Gîtes puissants. — Les méthodes de remblayage dans les gîtes puissants sont nombreuses. Le principal est de prendre successivement tout le gisement, en passant le moins possible sous les remblais.

Méthode inclinée. — Cette méthode est analogue comme traçage à celle indiquée page 55 ; elle ne s'applique qu'aux gîtes de

moyenne puissance et modérément inclinés. Elle est très recommandable, quand la couche est séparée par des barres de stérile en plusieurs couches parallèles. Le remblai se met facilement en place en glissant sur le mur de la tranche, mais il se tient mal sur ces pentes. On exploite souvent la tranche supérieure par foudroyage.

Méthode horizontale. — Cette méthode, analogue à celle dont nous avons déjà parlé page 55, a l'avantage, sur la méthode inclinée, de donner une excellente assiette pour le remblai, ainsi que pour la tombée du minerai.

Elle s'applique aux filons puissants, aux amas ou aux couches puissantes redressées. Cette méthode a été inaugurée dans le siècle dernier pour les filons puissants de Schemnitz, dont elle a sauvé alors l'exploitation.

Le remblayage s'exécute soit au moyen d'ouvrages perpendiculaires à la direction du gîte, soit par des ouvrages en direction.

Un savant mémoire publié, en 1891, dans les *Annales des mines*, par M. l'ingénieur en chef des mines Delafond, sur les *Méthodes d'exploitation des couches de houille puissantes*, contient les conclusions suivantes, sur lesquelles nous ne saurions trop appeler l'attention de nos lecteurs : *Le foudroyage, le rabattage et la méthode verticale ne donnent pas de résultats satisfaisants, les tranches inclinées conviennent aux couches assez régulières d'une épaisseur inférieure à 4 ou 5 mètres, et d'une inclinaison n'atteignant pas 40° ou 45°, les tranches horizontales sont, en général, la meilleure méthode à employer. Cette méthode offre, il est vrai, l'inconvénient de favoriser les incendies souterrains; mais, par une conduite rationnelle, on arrive à diminuer ce danger. Les tranches horizontales donnent surtout de bons résultats quand on emploie les moteurs intérieurs à air comprimé.*

Méthode verticale. — Dans cette méthode, on prend les étages dans l'ordre descendant et chacun d'eux en montant; mais en attaquant sur une surface assez limitée en projection horizontale pour que l'on puisse suffisamment s'élever sans accidents. C'est en vue de l'inflammabilité de certains combustibles que cette méthode

a été pratiquée, assez rarement d'ailleurs. Nous en citerons cependant deux exemples, le premier emprunté à la mine de mercure d'Almaden, où la richesse du minerai permet une exploitation dispendieuse par l'emploi de maçonnerie, l'autre aux anciens travaux de la mine de houille de Decazeville.

Méthode mixte. — M. Guilhaumat a donné connaissance, au congrès des Mines, d'une méthode intéressante usitée à Saint-Éloy dans un gîte de houille puissant, inflammable et incliné. Les étages, de 15 mètres de haut, sont pris en descendant. Chaque étage comprend deux sous-étages qu'on prend en descendant. Chaque sous-étage se prend par trois tranches horizontales simultanées, conduites différemment suivant que le gîte a plus ou moins de 50 mètres de traversée [1].

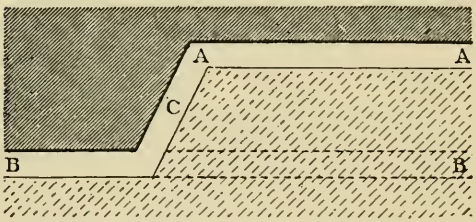


Fig. 25. - Rabattage (coupe verticale).

Méthode de rabattage. — Le rabattage s'applique à des gîtes suffisamment redressés, quelle que soit leur puissance. Voici en quoi il consiste : on trace en A (fig. 25) une galerie située au-dessus d'une autre B déjà établie à un niveau inférieur ; on réunit ces galeries par une taille inclinée C, ayant pour toit le minerai qui forme le front de taille de l'avancement, et pour mur le remblai destiné à boucher le vide produit à l'avancement et à combler successivement la galerie B. Celle-ci se raccourcit au fur et à mesure que A s'allonge, la taille se déplaçant parallèlement à elle-même ; l'inclinaison choisie pour C est celle du talus du remblai ameubli. Les wagonnets arrivent en A et culbutent le remblai qui se met en place naturellement ; le minerai est évacué par B.

Le rabattage s'exécute *en travers* ou *en long*.

1. *Bulletin de la Société minérale*, 1889, p. 1397.

CHAPITRE IV

ABATTAGE[1]

Quelle que soit la méthode d'exploitation adoptée, la première chose à faire est d'*abattre* le minerai avant de le faire *circuler* dans les voies intérieures et de l'*extraire* de la mine.

Les moyens d'*abattage*, auxquels va être consacré le présent chapitre, peuvent se ranger dans six grandes classes : travail à la *main*, au *feu*, à l'*eau*, aux *explosifs*, aux *engins mécaniques* et à l'*électricité*.

ANCIENS PROCÉDÉS

Travail à la main. — L'abattage à la main convient aux matières peu résistantes; il nécessite des outils qui servent à l'attaque de la matière et à son chargement dans les véhicules de transport.

Tout le monde connaît les outils du *terrassier :* la *pioche* à deux branches respectivement pointue et tranchante; la *pince*, levier en fer affuté en pointe; les coins en bois, à pointe et à frette en fer, etc.

Les outils d'attaque du houilleur sont : le *pic* dit *à la veine*, employé dans le charbon; cet outil très léger comprend un manche en bois et un corps en fer à *deux pointes* ou à *pointes mo-*

1. « L'Académie n'y met qu'un *t*, mais elle en met deux à *abattre*. La conséquence veut qu'on mette deux *t* à *abatage* ou qu'on n'en mette qu'un à *abattre*. » (Dictionnaire Littré.)

biles assemblées dans le corps de l'instrument et facilement remplacées, ce qui ne nécessite pas la sortie du pic; la *rivelaine*, sorte de pic à deux pointes très plates avec un manche assez long et qui convient bien au havage; le *coin* en fer, que l'on enfonce avec une *massette*.

La figure 26 représente une taille chassante contiguë à une galerie de chassage soutenue par des fers à double T, provisoire-

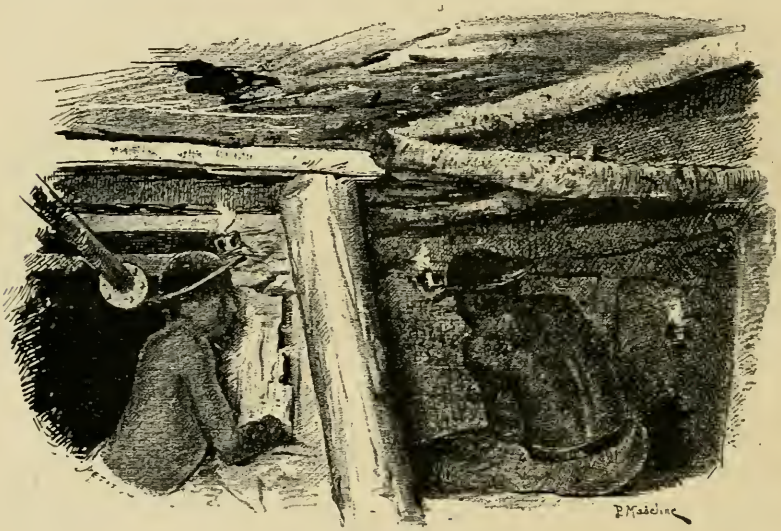


Fig. 26. — Havage au pic.

ment posés à plat sur des bois, et munie d'un tuyau d'air comprimé. Un homme fait, avec son pic, un havage dans le sillon du toit d'une veine à deux sillons. A sa gauche se repose, en causant avec lui, un aide qui vient de lui apporter un bois.

Le mineur travaille en général une matière plus dure que la houille et doit alors avoir des outils d'attaque spéciaux : le *ciseau*, avec une massette de 2 à 3 kilogrammes; la *pointerolle*, qui est un ciseau à pointe carrée, muni d'un manche en bois permettant de le tenir facilement; on frappe sur la tête avec la massette. Les

ciseaux s'émoussant très vite, le mineur en porte au chantier un assortiment qu'il enfile dans une chaînette.

L'outil de chargement est, dans tous les cas, la pelle, ou ses variétés, le râble et la pelle à grille quand on travaille dans l'eau.

En parlant de l'exploitation de la tourbe nous avons fait connaître les outils du tourbier, les louchets, servant à la fois à l'attaque et au chargement.

Lorsque, dans une mine, la puissance du gîte diminue outre mesure, comme dans les schistes cuivreux du Mansfeld, par exemple,

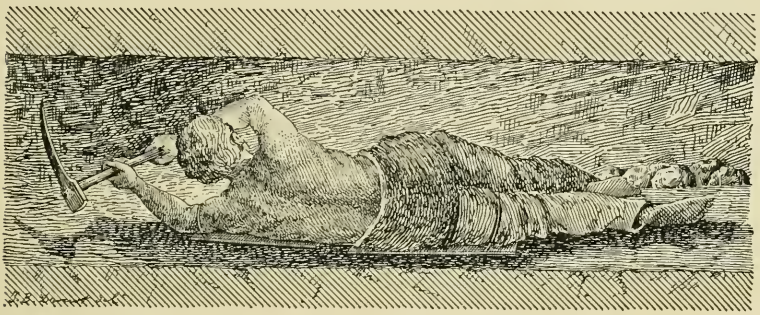


Fig. 27. — Abattage à col tordu.

dont nous avons parlé au chapitre précédent, le mineur est obligé de travailler couché sur le coté; pour ce travail, dit *à col tordu* (fig. 27), il s'attache sous la cuisse et l'épaule gauches des planchettes qui le garantissent du contact de la roche humide et froide. Si, au contraire, la hauteur du chantier est considérable, on la divise par gradins droits ou renversés.

A la suite du travail à la main nous citerons, ne fût-ce qu'à titre de curiosité, le fait, noté par Callon, du labourage par animaux de certains placers d'or ou de platine en Sibérie.

Travail à l'eau. — Ce travail est simple, mais il peut donner lieu à des éboulements analogues à celui qui est survenu aux salines de Varangeville.

On emploie l'eau de diverses façons : sa *pression* est utilisée

dans les cartouches hydrauliques de M. Guibal ou dans l'appareil dit coin hydraulique de Levet [1]. L'*action dynamique* de l'eau, mélangée ou non de sable fin et quartzeux, et lancée avec vitesse, a été heureusement employée dans un certain nombre de cas (exploitation des alluvions stannifères de Malacca).

On utilise également l'*action physique* de l'eau par la congélation (exploitation de marbres en Russie, de granite au Massachusetts); l'*action organique* de l'eau sur les bois pour en dilater les fibres (autrefois en Égypte pour détacher les bloc des obélisques; de nos jours à la Ferté-sous-Jouarre, exploitation de meulières); l'action *chimique*, hydratation de la chaux vive déterminant une forte dilatation (la chaux est employée en cylindres formant cartouches); l'action *désagrégeante* sur des matières faiblement cimentées; surtout l'action *dissolvante* sur les roches solubles, telles que le sel gemme, soit pour l'aménagement, soit pour l'exploitation même.

Travail au feu. — Ce mode d'abattage a été très en faveur dans l'antiquité pour les roches les plus dures, que la chaleur arrivait à *étonner*, et que l'on faisait éclater en les refroidissant avec de l'eau après les avoir échauffées. Le feu était installé dans des espèces de trémies ou sur des massifs de remblais placés devant le front de taille.

Ce procédé manquait de rapidité et d'énergie.

TIRAGE A LA POUDRE

ET EMPLOI DE DIVERS EXPLOSIFS

La poudre, dont la force explosive a été réservée d'abord aux armes à feu, a, depuis 1613, été employée dans les mines, pour briser les roches, en détonant au fond d'un trou bourré. On doit à cet effet forer un trou de mine, le charger de poudre sur une partie de sa longueur, et en bourrer le reste au moyen d'une matière

1. Il se compose d'une aiguille infernale (plat coin chassé entre deux coins demi-ronds) dont on pousse en dehors le coin central par la pression hydraulique.

inerte, en réservant dans la bourre un conduit pour l'amorce, et enfin mettre le feu à une mèche dont la combustion est assez lente pour permettre au mineur de se mettre à l'abri au moment de l'explosion. Il revient ensuite enlever le minerai.

Emplacement du trou de mine. — Le choix de l'emplacement du trou de mine est la première chose à considérer : l'expérience du mineur est à cet égard un excellent guide; on peut cependant la diriger par les indications suivantes.

On dispose, chaque fois qu'on le peut, les trous de mine dans un plan parallèle à une surface libre du rocher, en ayant soin d'utiliser les plans de moindre résistance, tels que les clivages, la feuille du charbon, etc. Il faut éviter que la bourre puisse être projetée au dehors et faire en sorte que le coup fasse le plus possible de gros et peu de menu, en brisant la roche sans la pulvériser.

Le diamètre des trous de mine est ordinairement de 3 à 4 centimètres, la longueur varie de $0^{m},50$ à 1 mètre.

Forage. — Le forage d'un trou de mine n'est qu'un sondage effectué à échelle réduite; nous n'examinerons ici que les procédés de percement à la main, en nous réservant de parler plus loin des perforateurs mécaniques.

Le forage à la main des trous de mine s'éxécute en général en frappant avec une massette sur un *fleuret* ou *burin*. Le travail peut être fait par un seul homme; dans ce cas, la massette pèse de 2 à 4 kilogrammes. Quand le travail est fait par deux hommes, la masse, qui pèse alors de 5 à 10 kilogrammes, est manœuvrée par l'un des ouvriers, l'autre maintenant le fleuret, et ces ouvriers changent alternativement de rôle. Le travail effectué par un seul homme est considéré comme plus économique.

La figure 28 représente deux hommes battant une mine dans la paroi d'une galerie où passe un tuyau d'air comprimé.

Le fleuret est une barre en fer à section carrée ou ronde, aciérée à l'extrémité; souvent aussi, pour la rendre plus légère, on la fait entièrement en acier. L'extrémité constitue un tranchant légèrement courbe, un peu plus grand que le diamètre du fleuret.

On tourne le fleuret sur lui-même pour assurer au trou la forme circulaire ; mais il peut arriver que, par suite d'inexpérience, l'ouvrier donne au trou la forme d'un excentrique triangulaire, c'est-à-dire celle d'un triangle curviligne, dont chaque côté est un arc de cercle décrit du sommet opposé comme centre ; pour éviter cet inconvénient, on munit le fleuret sur les deux côtés de petites ailes courbes destinées à aléser le trou, et qui lui donnent en coupe transversale la forme d'un Z. Le trou de mine est commencé par un premier fleuret, continué et terminé par d'autres fleurets de plus en plus longs.

Fig. 28. — Battage de la mine.

Au fur et à mesure que le trou de mine s'approfondit, on le cure pour en retirer les matières solides ; on y introduit de l'eau et de la glaise, et on retire le tout au moyen de la *curette*, petite barre de fer ronde, aplatie à son extrémité et recourbée d'équerre.

Dans les roches tendres, le percement à la main peut s'exécuter au moyen d'instruments contondants, tels que le bonnet carré, dont nous avons parlé au sondage ; mais on préfère presque toujours des instruments tranchants. Le plus usité est la *barre à mine*, que le mineur prend à deux mains, passe entre ses jambes, et enfonce par chocs successifs dans la roche. Si celle-ci est très tendre, le forage du trou de mine se fait très facilement au moyen d'une

grosse vrille, dite *tarière*, que l'on met en jeu à l'aide d'une sorte de vilebrequin.

Afin de mieux utiliser la force de disjonction de la poudre, il est préférable, ainsi qu'il est facile de le prouver théoriquement, de donner au trou de mine un faible diamètre, surtout dans la partie où a lieu le bourrage.

On arrive facilement à donner à la partie où l'on charge un

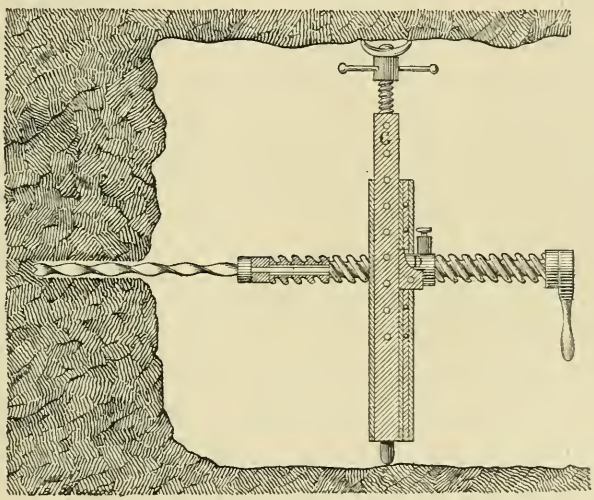


Fig. 29. — Perforateur Lisbet.

plus grand diamètre, en attaquant par l'acide chlorhydrique le fond du trou, dans les roches calcaires, et, dans les roches d'une autre nature, en employant des élargisseurs, dont le plus simple est un fleuret à crosse munie de deux tranchants.

Perforateurs à la main. — On emploie aussi pour le forage des trous de mine des *perforateurs* rotatifs *à la main.* L'un des plus usités est le *perforateur Lisbet*, représenté figure 29.

Il se compose d'une tarière hélicoïdale en acier, disposée à l'extrémité d'une vis à filet carré, passant dans un écrou porté par

un coulisseau ; celui-ci glisse comme un curseur le long d'un affût et se fixe en divers points, de manière à donner au trou de mine toutes les situations possibles. L'affût s'assujettit devant le chantier, contre le toit et le mur, par deux poteaux ; la partie inférieure est piquée dans le sol au moyen d'une pointe fixée, et la partie supérieure est munie d'une vis butante. La tarière, en tournant, creuse le trou par sa pointe et par sa dernière spire ; quant aux autres spires, elles ne touchent pas le rocher et servent à enlever les déblais. La vis est creuse et traversée par la tige de la tarière. La manivelle qui fait mouvoir cette tige peut se déplacer un peu longitudinalement, de manière à rendre la tige solidaire ou indépendante de la vis.

On embraie et on débraie successivement. Pendant l'embrayage, si le rocher est tendre, la tarière avance d'un pas de vis à chaque tour, et, s'il est résistant, elle avance moins et pousse l'affût en arrière.

Pendant le débrayage, la tarière ne tend à avancer que par la réaction de l'affût, qui avait été primitivement poussé en arrière. Les périodes de débrayage sont d'autant plus longues, par rapport à celles d'embrayage, que le rocher est plus dur. Si la vis a une longueur l, on met d'abord le montant à une distance l du front de taille avec la vis en arrière, attelée à une mèche de longueur l. On tourne, en embrayant et débrayant alternativement, jusqu'à ce que la mèche soit complètement enfoncée dans la roche et que la vis se soit avancée de toute sa longueur. On déclavette alors la vis et la mèche, et, au lieu de ramener la vis en arrière par un long mouvement de rotation, on fait pivoter l'écrou qui la porte. On peut ensuite placer une mèche de longueur $2\ l$, qu'on enfonce à une longueur l et qu'on remplace par une mèche de longueur $3\ l$.

On emploie généralement, au lieu de la manivelle, un cliquet agissant sur un encliquetage ; il fait tourner la tige de la tarière quand on le pousse dans un certain sens et n'agit pas quand on le tire en sens inverse.

Le *perforateur Leschot* a donné naissance au procédé de son-

dage au diamant; il se compose d'un cylindre en fer creux, terminé en arrière par une partie filetée qui reçoit un mouvement rapide de rotation, et en avant par une bague assemblée avec lui au moyen d'un joint à baïonnette et dans laquelle se trouvent sertis des diamants noirs. On creuse un trou annulaire dont on nettoie le fond par un courant d'eau rapide, et on laisse un témoin central que l'on brise par une pesée latérale. Le cylindre en fer creux est porté par un chariot qui se déplace le long d'un affût et reçoit, au moyen d'engrenages, un mouvement rapide de rotation autour de son axe, et un mouvement lent de progression le long de cet axe. L'appareil est mû à la main [1].

Chargement. — Avant de faire le chargement il faut s'assurer que le trou est bien sec; s'il est difficile à dessécher, on l'emplit de glaise et on fore un nouveau trou à l'intérieur de celle-ci.

Le poids de la charge de poudre varie généralement entre 50 et 500 grammes [2]; l'expérience du mineur permet dans chaque cas d'apprécier la quantité nécessaire. Burgoyne a énoncé une règle donnant approximativement cette quantité, et qui, transformée en mesures françaises, peut être énoncée ainsi : *la charge de poudre, exprimée en grammes, est égale à environ la moitié du cube de la distance, exprimée en décimètres, du trou de mine à la face libre la plus rapprochée.*

Pour introduire la poudre, il ne faut jamais la verser directement dans le trou, car les parois resteraient imprégnées de pulvérin qui pourrait, en prenant feu par le bourroir, amener une déflagration hâtive et dangereuse. Le mieux est d'employer des cartouches, aujourd'hui en usage dans presque toutes les mines.

1. Le perforateur Leschot peut aussi être mû par une machine Perret, qui est une machine de rotation à colonne d'eau à grande vitesse. Il reçoit de cette machine son mouvement de rotation rapide et il est appuyé contre le fond du trou par la pression de l'eau agissant sur sa tête.

2. Dans un trou de mine effectué aux carrières de Lafarge du Teil (Ardèche) on n'a pas chargé moins de 7000 kilogrammes de poudre. On a obtenu ainsi d'un seul coup 125 000 mètres cubes de roche. Des coups de mines analogues sont tirés couramment dans les mines de cuivre de Rio-Tinto. (Voir chapitre XIV.)

Elles sont fabriquées généralement d'avance en fort papier gris, en toile goudronnée, en fer-blanc luté ou autre métal, suivant l'humidité de la roche. On emploie de préférence aujourd'hui la poudre comprimée de Davey, en faisant des cartouches formées d'un seul bloc percé d'un trou pour le passage de l'étoupille; on superpose une série de ces blocs pour obtenir la charge nécessaire. La poudre comprimée produit de très bons résultats. Comme, de plus, elle ne peut pas servir à la chasse, elle ne risque pas d'être soustraite par les ouvriers, comme la poudre ordinaire, pour leur usage personnel.

Une ancienne pratique, dite *tirage au tasseau*, consistait à charger, avec de la poudre, un tasseau inerte qui était souvent un disque en bois, muni d'une queue centrale, et placé au-dessus ou au-dessous de la charge; cette pratique diminuait la charge de poudre, mais avait l'inconvénient d'introduire des surfaces de refroidissement. On employait également comme tasseau un demi-cylindre plein, orienté convenablement par rapport à la surface dégagée du rocher; on mettait aussi un tasseau cylindrique au centre de la cartouche; en tous cas, les résultats ont toujours été mauvais. Il en a été de même pour les essais de mélange à la poudre de matières inertes, telles que la sciure de bois ou de corne, la chaux, la poudre de lycopode; ces substances, augmentant les surfaces de refroidissement, ajoutent aux fumées ordinaires des poussières nuisibles et nécessitent une ventilation compliquée.

Bourrage. — Cette opération a pour but de tasser au-dessus de la charge de poudre une bourre constituée de matières rigoureusement exemptes de quartz ou d'autres minéraux durs. On emploie à cet effet des saucissons d'argile préparés d'avance, de la brique ou de la tuile pilée, du schiste, du gypse, du plâtre, du sable, de la poussière de sel; dans le cas où on tire à la dynamite, on peut bourrer les trous avec de la *gélosine,* matière gélatineuse plastique contenant jusqu'à 98 pour 100 d'eau.

Les instruments dont on se sert, pour opérer le bourrage, sont le *bourroir* et *l'épinglette.* L'épinglette est une longue aiguille

pointue à l'une de ses extrémités et munie d'un anneau à l'autre bout, elle est généralement en fer; mais comme le fer peut faire feu contre la roche, si celle-ci est dure, on emploie alors des épinglettes en cuivre, en laiton et même en bois. On réserve au travers de la bourre un passage pour l'épinglette, qui doit de plus pénétrer dans la cartouche.

Le bourroir est une tige de fer et quelquefois de cuivre, de laiton [1], même de zinc et aussi de bois, d'un diamètre sensiblement moindre que celui du trou; il se termine par une partie renflée avec une échancrure servant de logement pour l'épinglette.

Voyons maintenant comment se fait le bourrage. La cartouche est poussée doucement au fond du trou; l'épinglette bien graissée est introduite jusqu'au centre de la cartouche en la laissant appuyée sur le bord de la paroi. Le mineur introduit alors une première bourre qu'il pousse très doucement, puis une seconde, sans avoir besoin de prendre autant de précaution, mais en ayant soin de ne pas frapper sur l'épinglette, et de tourner celle-ci de temps en temps sur elle-même afin d'éviter un coincement dans son logement. On entoure l'épinglette contre la bourre d'une collerette d'argile mouillée, afin qu'en la retirant il ne se produise pas d'éboulements qui causeraient un raté; on pose alors le bourroir dans l'anneau de l'épinglette, qu'on retire avec les deux mains en la tournant sur elle-même. Il reste alors un passage libre pour le boute-feu.

Amorçage. — Pour porter le feu à la cartouche, au travers du vide laissé dans la bourre par l'épinglette, on se sert d'un fétu de paille rempli de poudre, ou d'une canette ou raquette composée de cornets emboîtés les uns dans les autres et formés de papier trempé préalablement dans une bouillie très claire de poudre et d'eau gommée. On enflamme le fétu ou la raquette au moyen d'un intermédiaire à combustion lente (mèche soufrée ou amadou),

1. Nous recommandons à cet usage un alliage nouveau à base de cuivre, de zinc et de fer, le « Delta », qui ne donne pas d'étincelles et qui néanmoins présente une grande résistance.

qu'on attache avec du suif; la poudre brûle en déterminant un mouvement de recul du fétu ou de la raquette jusque dans la cartouche, dont elle produit l'explosion. Mais par ces deux modes d'amorçage il se produit des flammes dangereuses dans les mines grisouteuses; on évite cet inconvénient capital par l'emploi de l'étoupille de sûreté.

L'étoupille de sûreté de *Bickford* est constituée par une corde blanche si on tire à sec, ou goudronnée et même revêtue de gutta-percha pour permettre de tirer sous l'eau. Dans l'axe de la corde on a disposé une trainée de poudre qui transmet le feu avec une vitesse d'environ $0^{m},50$ par minute. Cette étoupille supprime l'emploi de l'épinglette, on l'introduit avec la cartouche en la laissant saillir de la bourre, et il suffit d'allumer l'extrémité libre avec de l'amadou enflammé par un briquet.

Inflammation. — Lorsque le coup de mine est prêt à être tiré, il faut, au moyen de cris d'avertissement en usage, prévenir les ouvriers des chantiers voisins, afin qu'ils se retirent et empêchent les ouvriers venant du dehors de s'approcher du chantier de l'explosion. Un *fireman* demeure et allume la mèche, puis il bat en retraite. On ne doit revenir qu'après avoir entendu le coup; si l'on n'entend rien, il faut attendre un certain temps, car le coup peut faire long feu. En cas de raté il ne faut pas débourrer la mine sans la noyer préalablement. Le plus souvent, pour gagner du temps, on exécute le tir par volées, ce qui a de plus l'avantage d'augmenter l'effet produit par la simultanéité des coups, mais ce qui a l'inconvénient d'obliger, dans tous les cas, à attendre un certain temps avant de revenir sur les lieux, de peur que quelques-uns des coups n'aient fait long feu. On n'obtient cette simultanéité dans le sautage par salves que par le tir électrique, qui a d'ailleurs le double avantage de ne pas nécessiter la présence d'ouvriers dans le voisinage et de pouvoir s'exécuter sous l'eau. On emploie, pour le réaliser, les appareils d'électricité statique, les piles ou les machines d'induction telles que la bobine Ruhmkorff, qui produisent une étincelle ou portent au rouge un fil de platine. On enflamme ainsi

des amorces spéciales formées par exemple de sulfure d'antimoine et de chlorate de potasse [1].

Voici, d'après M. Chalon, des exemples du prix d'un coup de mine tiré à la poudre ou à la dynamite, selon le mode d'inflammation.

Mode d'inflammation.	Poudre.	Dynamite.
Électricité.	0,11	0,16
Mèche ordinaire.	0,07	0,11
Mèche à gutta-percha	0,25	0,29

L'effet de la poudre dans le sautage des mines n'est que très imparfaitement utilisé : dès que la poudre a séparé les parties de la roche, elle en projette les fragments et elle met en mouvement une masse d'air énorme qui entre en vibration ainsi que le sol avec dégagement de chaleur, et par suite avec perte de force vive. Le meilleur moyen de briser les roches dures est cependant constitué par la poudre et par les divers explosifs que nous allons indiquer très rapidement dans ce volume, car ils seront étudiés en détail dans un autre ouvrage de la *Bibliothèque des sciences et de l'industrie.*

Poudre et explosifs divers. — La poudre de mine est fabriquée suivant les trois types suivants :

	Salpêtre.	Soufre.	Charbon.
Ordinaire.	62	20	18
Forte.	72	13	15
Lente	40	30	30

Elle est livrée sous trois formes : *ronde,* pour travaux de sautage et de pétardement ; *anguleuse,* pour confection de cartouches comprimées ; *fin grain,* pour la fabrication des mèches de sûreté.

On a essayé, en raison du prix élevé et de la rareté du salpêtre, de lui substituer l'azotate de soude ; malheureusement ce sel

1. Un intéressant exemple de tir par volées est le sautage sous-marin de Hallet's Point, à New-York (24 septembre 1878) : 7033 trous de mine, chargés d'environ 50 tonnes d'explosifs divers, ont fait sauter d'un seul coup, au moyen de 960 éléments de pile, un cube énorme de 48 000 mètres cubes ; la dépense s'est élevée à 5 560 000 fr.

est trop déliquescent; d'autres essais pour le remplacement du charbon de bourdaine par des succédanés ont échoué.

Diverses poudres sont constituées par une seule substance organique, dont les éléments sont susceptibles de dégager beaucoup de chaleur en modifiant leur mode de groupement : par exemple, les picrates, le pyroxile et la nitroglycérine.

Le *pyroxile*, ou coton-poudre, est le résultat de l'action sur la cellulose de l'acide nitrique et de l'acide sulfurique; il s'enflamme à 180°; un choc ne le fait éclater qu'au point choqué, tandis qu'il détone par la déflagration d'un fulminate. Le pyroxile employé seul n'a pas donné de bons résultats dans le tirage des mines.

La *nitroglycérine* est un liquide doué de propriétés très dangereuses, qui en font interdire le transport et l'usage dans les mines, sauf dans des cas exceptionnels et avec des précautions spéciales; mais Nobel, en mélangeant la nitroglycérine avec une substance absorbante et poreuse, a obtenu un produit d'un usage plus pratique, la *dynamite*, qui comprend de nombreuses variétés suivant la nature de la substance mélangée : dynamite à base inerte et dynamite à base active. Parmi ces dernières, la plus employée est la dynamite Nobel n° 3, mélange d'une poudre au nitrate de soude, de nitroglycérine et de paraffine :

Nitrate de soude	60
Soufre.	4
Charbon.	10
Nitroglycérine	25
Paraffine.	1

Lorsqu'on apporte, dans son emmagasinement et son emploi, toutes les précautions compliquées recommandées par la circulaire ministérielle du 11 juin 1889, la dynamite Nobel n° 3 n'est pas dangereuse. On en fait des cartouches que l'on fait détoner au moyen d'amorces renfermant 80 0/0 de fulminate de mercure et 20 0/0 de chlorate de potasse ; on place ce mélange dans des capsules en fer-blanc, dans lesquelles on introduit l'extrémité d'une étoupille Bickford.

Le mélange de nitroglycérine et de pyroxile fournit la *dynamite gomme,* que l'on rend plus stable et moins sensible aux chocs et aux vibrations par l'adjonction d'une substance telle que le camphre. Cette dynamite, dont la consistance est celle de la gomme, possède une puissance explosive formidable ; elle ne gèle pas comme la dynamite Nobel n° 3, et elle ne donne aucune exsudation, même sous une forte pression.

L'emploi de la dynamite est de plus en plus préféré à celui de la poudre dans les mines. Outre qu'elle a l'avantage de pouvoir détoner sous l'eau, elle permet de réaliser pour un égal rendedement une économie d'argent de 20 à 40 0/0 et de temps de 15 à 20 0/0.

Nous renvoyons au chapitre XI l'étude de la très grave question de l'emploi des explosifs dans les mines dont l'atmosphère est inflammable.

ENGINS MÉCANIQUES D'ABATTAGE

Les engins mécaniques, aujourd'hui très répandus pour forer les trous de mine, pour les faire sauter ou pour produire des havages, ou même pour forer une galerie d'un seul coup, ont généralement pour moteur l'air comprimé.

L'emploi de l'air comprimé, comme engin de transmission de force motrice à distance, remonte à 1845 ; un ingénieur français, M. Triger, en fit le premier usage. Depuis lors, M. Sommelier a fait au percement du tunnel du mont Cenis un remarquable emploi de l'air comprimé. M. Pernolet a préconisé, en 1876, son emploi dans les mines [1], et M. Mathet l'a considérablement développé [2].

L'air est comprimé dans des appareils qui ne peuvent être décrits dans ce volume. Une canalisation établie au jour et au fond

1. Pernolet, *l'Air comprimé et ses applications*, 1876.
2. *L'air comprimé aux mines de Blanzy*, par M. F. Mathet, ingénieur en chef de cette compagnie minière. 2e édition, 1888.

aboutit aux machines qui utilisent l'air comprimé. A Blanzy, cette canalisation a un développement de 22 kilomètres; cette longueur a moins d'inconvénient qu'avec de l'eau, à cause des frottements beaucoup plus considérables de cette dernière, ou qu'avec la vapeur, à cause des refroidissements dont elle est susceptible.

Perforateurs mécaniques. — Le perforateur Jordan et ses dérivés emploient de l'air comprimé à bras d'homme. Ils peuvent être rotatifs ou à percussion, et dans ce dernier cas l'appareil percuteur peut agir comme le fleuret et la massette, ou comme la barre à mine.

Le perforateur Sommelier, dont les services ont été si appréciés dans le percement du mont Cenis, est complètement automatique.

Le perforateur *Dubois-François* (fig. 30), aujourd'hui d'un usage courant dans les mines, a réalisé de notables progrès sur l'appareil Sommelier. Il comprend un cylindre en bronze dans

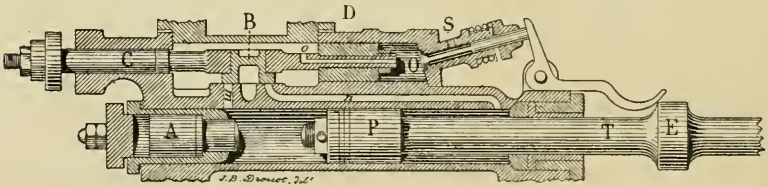


Fig. 30. — Perforateur Dubois-François (coupe longitudinale).

lequel se meut un piston P dont la tige T sert de porte-fleuret. Un tampon A à air comprimé est placé à l'extrémité du cylindre dans le but d'adoucir les chocs; au-dessus est située la chambre de distribution, de laquelle l'air comprimé vient au moyen du tiroir B et des lumières *m n* agir sur le piston.

Au tiroir de distribution B sont fixés deux petits pistons C et D, dont l'un D de diamètre plus grand est percé d'un orifice OO. L'air comprimé de la chambre de distribution presse sur C et D, et fait avancer le tiroir de gauche à droite en dégageant l'orifice *m*, par lequel la pression s'introduit derrière le piston P, pour le

pousser en avant. Mais l'air comprimé pénètre bientôt par OO derrière le piston D, qui se trouve alors en équilibre; la pression agissant toujours sur C entraîne vers la gauche le tiroir, qui met cette fois l'air comprimé en communication, par l'orifice *n*, avec l'avant du piston P, tandis que l'arrière est ouvert à l'échappement. L'outil, après avoir frappé vers la droite de la figure, est donc ramené vers la gauche; mais, dans ce mouvement, la partie renflée E soulève une pédale qui ouvre la soupape S et met l'arrière du piston D en communication avec l'extérieur. Le mouvement se reproduit indéfiniment de la même façon. Quand le fleuret se coince, on peut le décoincer à loisir sans risquer d'avarier le tiroir.

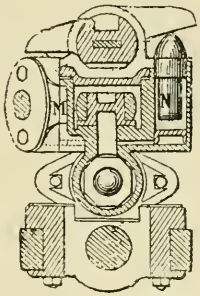


Fig. 31. — Perforateur Dubois-François (fonctionnement du levier d'encliquetage).

Le mouvement de rotation du fleuret est obtenu par un levier d'encliquetage composé d'un rochet calé sur le porte-fleuret et relié à une tige plate solidaire de deux leviers, qui lui font prendre un mouvement de balancement; ces deux leviers (fig. 31) sont mus par deux pistons M N, mis en communication avec les lumières *m n*. Le levier d'encliquetage laisse passer à chaque coup de fleuret une dent du rochet et, par conséquent, fait tourner le fleuret d'un dixième de tour chaque fois. L'avancement de l'appareil, au fur et à mesure de l'enfoncement du trou, est fait à la main au moyen d'une tige filetée, fixée sur le bâti et reliée au perforateur par deux écrous. On perce avec cet appareil des trous de mine très longs qu'on fait partir en deux fois, en bourrant la première fois du sable dans la partie la plus profonde. Ces perforateurs, au nombre de un à quatre, suivant la grandeur du chantier, sont portés par un affût roulant sur la voie ferrée de la galerie, reposant sur six roues et composé (fig. 32) de quatre vis verticales, filetées dans toute leur longueur, deux à l'arrière et deux à l'avant. Des supports, pouvant se mouvoir le long de ces vis, permettent de donner aux perforateurs les posi-

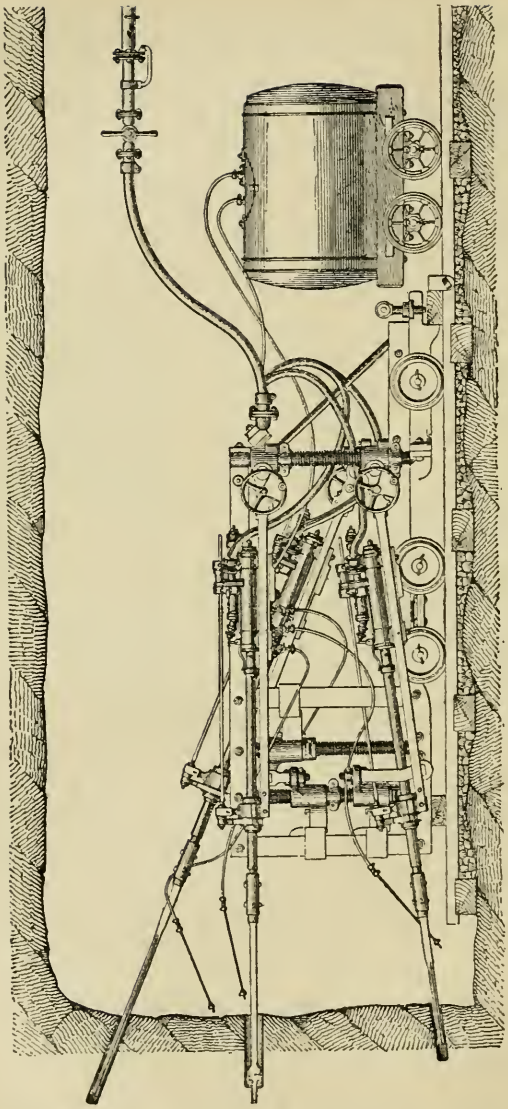


Fig. 32. — Bosseyeuse Dubois-François.

tions inclinées que nécessite le travail. Grâce au mode de distribution et de rotation de l'outil, cet appareil consomme moins d'air comprimé que celui de Sommelier.

Le prix d'un perforateur Dubois-François est de 1500 francs et celui de l'affût de 4000 francs, non compris les fleurets : le poids de l'appareil sans le fleuret est de 220 kilogrammes, celui de la masse percutante, 32 kilogrammes; la longueur totale est de $2^m,20$, le diamètre du piston est de $0^m,07$ et sa course de $0^m,29$. La pression est de 4 atmosphères et demie. La vitesse de la masse percutante au moment du choc est de 5 à 6 mètres; le fleuret fait

vingt tours par minute et donne cent cinquante coups par minute.

A Blanzy, on a apporté récemment à cet appareil diverses modifications pour remédier au mode trop compliqué de la rotation du fleuret.

De nombreux autres types de bosseyeuses ont été imaginés.

Abattage direct à l'air comprimé. — A Blanzy, on remplace le fleuret d'une perforatrice par une masse qui frappe sur une aiguille infernale (voy. p. 66) jusqu'à obtenir l'éclatement de la roche.

Dans d'autres cas, on arrive simplement au même résultat, en admettant dans le trou de mine de l'air comprimé jusqu'à 900 kilogrammes par centimètre carré[1].

Quoi qu'il en soit, ce dernier mode d'emploi de l'air comprimé est jusqu'ici peu répandu dans les mines. Il n'en est pas de même du suivant.

Haveuses mécaniques. — Le havage a pour but d'exécuter dans les terrains stratifiés, tels que les terrains houillers, une entaille plane pour faciliter l'abattage. Cette opération a été pratiquée mécaniquement avec succès en Angleterre et en France, notamment à Blanzy, où elle est d'un usage courant. La haveuse peut pratiquer sur le front de taille un havage proprement dit suivant le mur de la couche, ou deux rouillures verticales à droite et à gauche du front de taille.

La haveuse Winstanley est aujourd'hui d'un usage répandu. Son organe essentiel est une roue généralement horizontale, mais qui peut être dans certains cas disposée verticalement.

Celle qui est représentée figure 33 se compose d'un chariot monté sur rails et se halant lui-même sur un point fixe. Deux

1. Cette pression a été atteinte dans la houillère de Bower. (M. Haton de la Goupillière, t. 1er, p. 215.) A ce propos, nous devons rappeler qu'il existe trois unités de pression à peu près équivalentes entre elles : le kilogramme (force) par centimètre carré, employé encore actuellement pour mesurer les pressions effectives des gaz, c'est-à-dire déduction faite de la pression atmosphérique extérieure ; l'atmosphère, employée autrefois pour mesurer les pressions totales ; et la barie ou la mégadyne par centimètre carré, c'est-à-dire la nouvelle unité absolue de pression. (*Les Sciences expérimentales.*)

petits cylindres oscillants, accouplés à angle droit, attaquent un arbre moteur qui commande au moyen de roues dentées la scie placée sous le bâti ; cette scie est une roue munie de dents sur son pourtour et, en plus, de dents inclinées sur ses deux faces.

Cette haveuse, marchant à 80 tours par minute et consommant par tour 18 litres d'air à 3 atmosphères, fait en huit ou dix heures dans un charbon très dur une sous-cave de 75 millimètres de hauteur et de 85 centimètres de profondeur, sur un front de taille de

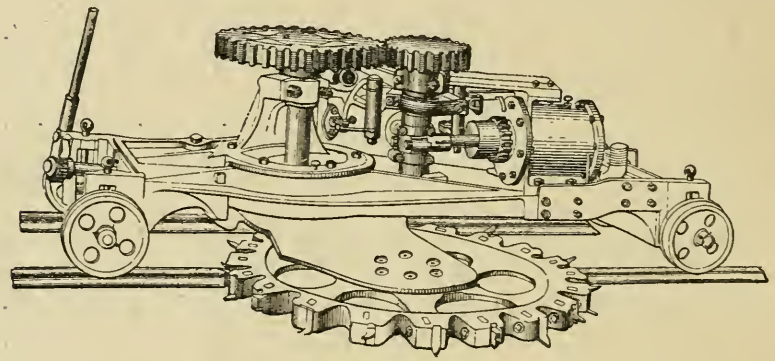


Fig. 33. — Haveuse Winstanley.

100 mètres de long. Elle occupe trois hommes et fait le travail de 20 à 25 bons ouvriers haveurs.

Un nouveau modèle de haveuse, avec la roue à la partie supérieure, figurait à l'Exposition de 1889 ; les ingénieurs de Blanzy en sont très contents. Le mécanisme est en bas, dans une caisse en tôle complètement fermée, et par conséquent à l'abri des poussières.

Avec cette machine, on fait couramment un mètre d'avancement de havage dans les charbons durs et barrés en cinq minutes. Dans les charbons fermes et non barrés, on a pu obtenir des vitesses doubles.

M. Taverdon a remplacé la scie de l'appareil Winstanley par un disque mince sur la circonférence duquel il a enrobé des diamants.

Tarière Beaumont. — De même que l'on est passé des étroits sondages de recherche au fonçage des puits par la sonde, de même, le forage d'un trou de mine par la tarière a conduit au percement, par l'appareil Beaumont, de la galerie d'avancée du tunnel sous-marin de la Manche.

L'excavateur du colonel Beaumont (fig. 34) comprend comme organe essentiel un arbre horizontal terminé en forme de T par une pièce ayant le diamètre de la galerie. Elle est munie de ciseaux qui attaquent le front de taille suivant des cercles concentriques. Les fragments tombent dans une chaîne à godets qui passe sous le chariot de l'excavateur et verse, à l'arrière, les déblais dans des wagonnets. L'arbre moteur est actionné par deux cylindres à air comprimé, mais la connexion n'est pas entièrement solide. Elle a lieu par la pression même et permet un débrayage spontané s'il se présente un obstable trop dur.

Quant au mouvement de progression, il est très ingénieusement obtenu. Le bâti se compose de deux berceaux cylindriques présentant la courbure de la galerie et pouvant glisser, l'un par rapport à l'autre, suivant les génératrices. Le cylindre extérieur reposant

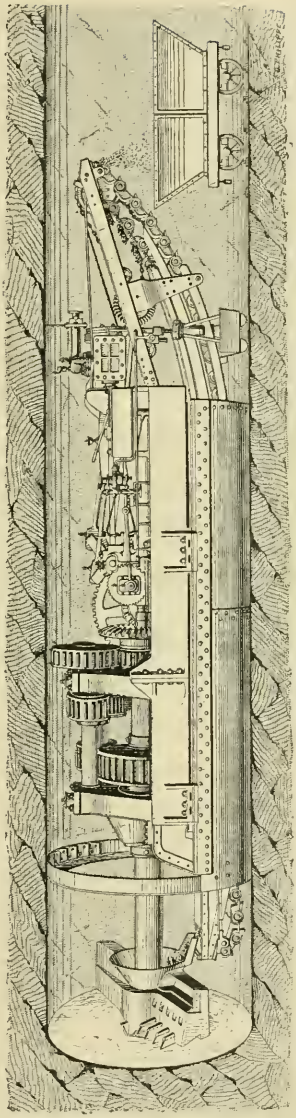


Fig. 34. — Tarière Beaumont.

à terre, l'outil s'avance, au fur et à mesure de l'abattage, sous l'influence de la pression qu'il subit à l'arrière. Quand il est à bout, on arrête la rotation, on soulève l'appareil sur des crics, et c'est alors le berceau inférieur qui, en parcourant à son tour cette même longueur, rejoint la machine, maintenue immobile sur les crics. On repose alors celle-ci sur le berceau inférieur, en soulageant les crics, et l'on recommence une nouvelle travée.

Les cylindres ont $0^m,30$ de diamètre et $0^m,45$ de course; la pression est de 2 kilogrammes par centimètre carré en plus de la pression atmosphérique. La manivelle fait cent tours par minute, mais les engrenages réduisent la rotation de l'outil à un tour et demi dans le même temps. L'excursion longitudinale du bâti est de $1^m,37$; la vitesse de la chaîne à godets $0^m,50$ par seconde. Le diamètre de la galerie est de $2^m,06$. L'avancement dans la craie grise, que l'on traverse sous la Manche, a été au début de $0^m,60$ à l'heure, il pourrait être porté à 1 mètre.

La Société des charbonnages des Bouches-du-Rhône emploie en ce moment, pour percer la galerie d'écoulement de 15 kilomètres qui doit relier la concession de Gardanne à la mer, l'appareil Brunton, qui rappelle dans une certaine mesure l'excavateur Beaumont.

EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ

Des essais d'application de l'électricité à la perforation mécanique ont été tentés en Amérique par la « Sprague Electric Motor C° », la « Union Electric » et divers ingénieurs. La manœuvre des perforatrices à percussion par l'électricité présente de grandes difficultés; dans tous les cas, le foret est relié par des bielles à l'armature d'un moteur électrique, dont chaque révolution correspond à un coup battu par l'outil.

L'adaptation d'un moteur électrique à des perforatrices rotatives à taillant d'acier ou de diamants a présenté moins de difficultés; le mouvement de l'armature peut, en effet, être communi-

qué directement aux engrenages qui commandent le porte-outil; signalons les tentatives de ce genre dues à MM. Taverdon et Tedesco.

Havage. — La haveuse électrique de MM. Bower, Blackburn et Mori a été essayée en 1887 en Angleterre.

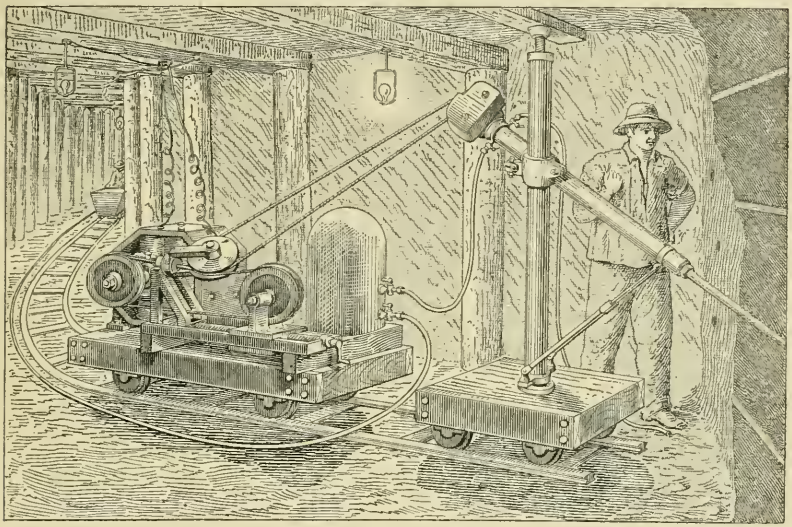


Fig. 35. — Perforateur électrique Taverdon.

Nous empruntons sa description au *Mémoire* précité de M. Chalon :

« Le chariot porte-outil, qui se compose principalement d'une barre armée de lames ou couteaux de forme étoilée, reçoit son mouvement d'un moteur électrique installé sur le même bâti et d'une force de six à neuf chevaux. Ce moteur est relié par des conducteurs flexibles à une dynamo qui fait 600 tours par minute.

« La barre haveuse décrit un quart de cercle dans le massif de charbon qu'elle entaille sur une profondeur d'un mètre environ.

« Le chariot est mû par des treuils qui permettent de le déplacer le long du front de taille.

« On peut se dispenser de fixer le moteur sur le chariot, mais alors il faut faire usage d'une transmission par chaînes ou par poulies et courroies.

« La haveuse Lechner, essayée dans les houillères de Pensylvanie », et décrite dans le même *Mémoire*, « est reliée à un moteur électrique par une transmission à corde. Un seul moteur peut faire le service de trois haveuses opérant successivement, ce qui permet d'effectuer un travail continu, car tandis que la deuxième ou troisième haveuse fonctionne, on charge sur wagonnet le charbon abattu par la première. »

Citons encore la haveuse par percussion, exposée en 1889 par la *Spery mining machine C°* de Chicago, mue par une dynamo de 20 ampères à 80 volts.

CHAPITRE V

PUITS ET GALERIES

NOMENCLATURE

Les galeries, dirigées suivant l'horizontale du gisement, prennent le nom de *galeries de direction*, *galeries d'allongement*, *chassages*, *costeresses*, *etc.*, ou celui de *recoupes* si elles sont très courtes. Les galeries horizontales, dirigées transversalement au gisement, constituent les *galeries au rocher*, *travers-banc*, *bowettes* ou *bouveaux*, *etc.*, et les *traverses* quand elles sont comprises dans l'intérieur du gisement. Celles qui sont menées suivant la ligne de plus grande pente sont désignées sous le nom de *galeries inclinées*, *montages*, *enlevures*, *descenderies*, *vallées*. Les plus raides prennent le nom de *fendues*, *cheminées*, *puits inclinés*.

Sous le rapport de l'usage auxquelles elles sont affectées, on distingue les galeries de transport des véhicules (*galeries de roulage*, *mères galeries*, *voies de fond*, *voies maîtresses*, quand elles sont sensiblement horizontales; *plans inclinés*, quand elles ont une grande inclinaison); celles de dépilage ou de traçage; les *galeries*

d'écoulement destinées à la circulation des eaux dans l'intérieur de la mine ; les galeries d'aérage appelées *voies d'air, chemins d'air, retours d'air, maillages, troussages*, et enfin les galeries de *recherche*.

Les galeries de mine se divisent suivant leur section en *petites galeries,* dont la section varie de 1 mètre de largeur sur $0^m,60$ de hauteur à $1^m,50$ de largeur sur 2 mètres de hauteur ; en *grandes galeries*, dont la section atteint parfois 4 mètres sur 4 mètres ; et enfin en *tunnels* qui ne sont pas sans exemple dans l'exploitation des mines, mais dont le percement ressortit aux travaux de *chemins de fer,* et dont nous ne dirons rien dans le présent ouvrage.

Les puits de mine ont une direction verticale ou très voisine de la verticale : on les appelle souvent *fosses* dans les charbonnages du nord de la France et en Belgique. Si le puits ne débouche pas au jour et reste renfermé dans la mine, il constitue un faux puits, *bure* ou *beurtia.*

Les puits servent à l'extraction, à l'épuisement des eaux, ou exhaure, à la ventilation, à la circulation des hommes sur des échelles fixes, sur des échelles mobiles (fahrkunst, man-engines, warocquères) ou par les cages et les bennes. Leur profondeur a dépassé 1000 mètres.

Leur section, trop faible autrefois, a atteint des dimensions anormales (77 mètres carrés, mines d'or de Berezowski) ; elle doit varier de 7 à 25 mètres carrés.

SOUTÈNEMENT

Ceci posé, nous allons parler d'abord de la consolidation des galeries et des puits percés en terrain de moyenne consistance. Leur soutènement s'appelle *boisage, muraillement* ou *blindage*, suivant la nature des matériaux qu'on emploie.

Boisage. — Quand on veut de la solidité on emploie le chêne ; ce même arbre, le pin, le châtaignier permettent d'obtenir la rectilignité ; les bois résineux et blancs, la légèreté ; l'orme, le frêne, le hêtre, le châtaignier, la souplesse ; l'acacia et le chêne se carient

peu dans le mauvais air. Quand le bois doit résister aux alternatives de la sécheresse et de l'humidité, les essences recommandables sont l'aune, le chêne, le hêtre, le châtaignier, le pin.

Les procédés de conservation des bois sont généralement trop coûteux pour être employés dans les mines. Le soutènement des mines par boisage, presque exclusivement adopté autrefois, consommait une partie importante de la richesse forestière; d'après M. Haton de la Goupillière, cette consommation s'est élevée en France, en 1876, à 738 900 stères, ce qui représente la production de 184 000 hectares. Elle diminue sensiblement grâce à l'emploi de plus en plus fréquent du muraillement et du blindage.

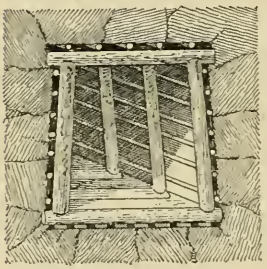


Fig. 36. — Cadre normal.

La charpente des mines est généralement grossière, elle consiste en bois débités en rondins ou demi-rondins (perches, rallongues, esclimbes, rondins fendus en quatre, fagots, fascines, etc.) et, en bois travaillés très simplement (madriers, palplanches, écoins, picots, coins, plats coins).

Les bois déjà employés et enlevés lors du déboisage des galeries peuvent encore servir.

Souvent de simples buttes isolées ou alignées suffisent à soutenir le toit; ces buttes ont environ une longueur de 2 mètres, qui quelquefois atteint 5 et 10 mètres; mais c'est là un exemple qu'il faut se garder de suivre. En général le boisage des galeries est fait au moyen de cadres; suivant la poussée exercée par le terrain, ces cadres sont jointifs ou écartés; l'écartement peut atteindre 2 mètres.

Le cadre normal (fig. 36) est un trapèze constitué de quatre pièces : un chapeau, deux montants et une semelle. Ce cadre peut être simplifié par la suppression de l'un ou plusieurs de ces éléments, suivant la solidité des parois de la galerie, et se réduire même parfois au chapeau.

D'autres fois, au contraire, le cadre est consolidé par une chandelle, pièce de bois placée verticalement en son milieu, ou par un étrésillon, qui réunit les montants dans le voisinage de la partie supérieure (fig. 37). Les cadres deviennent souvent plus complexes; dans le cas de grande élévation de la galerie, on entretoise les montants près du faîte, ou on les étrésillonne près du pied.

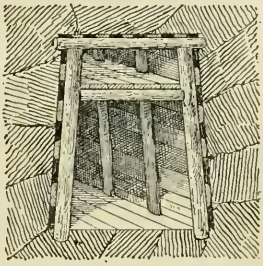


Fig. 37.
Cadre étrésillonné par le haut.

Lorsque le chapeau *fatigue* trop, on en soutient le milieu sur un renfort que deux contre-fiches arc-boutent contre les montants; ce système de longuerinage (fig. 38) augmente beaucoup plus la durée de l'ouvrage que son prix.

Les cadres sont fréquemment réunis par un garnissage en planches. Le cadre se transforme quelquefois, dans des cas exceptionnels, en une véritable voûte de bois.

Les puits constituant des artères vitales d'une exploitation minière sont boisés, même quand ils sont percés en roche dure; il faut, en effet, éviter la chute d'écailles qui, tombant de hauteurs considérables, produiraient des chocs énormes malgré leur faible masse. Les bois employés sont choisis avec soin, afin de n'avoir pas de réparations fréquentes à faire. Le boisage s'effectue par cadres, comme celui des galeries; ces cadres sont disposés horizontalement si le puits est vertical, ou compris entre la section droite et un plan horizontal, s'il est incliné. Quand, ce qui est rare, ils ne sont pas jointifs, on maintient leur écartement au moyen de longuerines d'angle. Chaque cadre, suivant la forme du puits, est constitué par un polygone pouvant avoir jusqu'à vingt-deux côtés, ou par un rectangle dont les longs côtés sont reliés par un

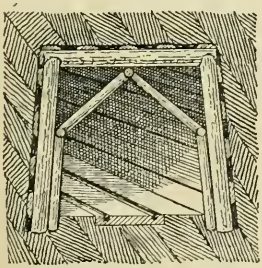


Fig. 38. — Longuerinage.

ou deux bois d'entrefends. Ces bois ont pour but de maintenir les poussées; en les reliant par des planches jointives, on divise le puits en deux ou trois puits voisins, où peuvent circuler des courants d'air différents.

Les cadres sont faits avec des rondins quand on veut utiliser toute la force du bois, ou avec des bois équarris si on veut avoir à volume égal la résistance maximum. On emploie des *roues-lisses* ou roulisses, cadres de boisage d'une grande solidité et qui jouent un rôle important, par exemple à l'entrée du puits.

Muraillement. — Le muraillement s'applique aux travaux de grande durée.

La maçonnerie est faite en moellons piqués ou en briques et avec du mortier hydraulique.

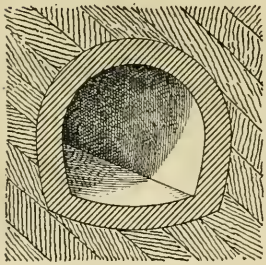


Fig. 39. — Galerie en plein cintre avec radier.

Dans les galeries, on emploie en général deux murs coiffés d'une voûte en plein cintre, en ayant soin de garnir l'intervalle compris entre l'extrados de la voûte et le rocher. Souvent aussi (fig. 39) on relie par un radier les parties inférieures des murs. Le muraillement des galeries se fait aussi avec voûte sans pieds-droits, avec voûte déversée, en ellipse complète ou incomplète.

On muraille les puits en général avec deux épaisseurs de briques[1] disposées en travées successives séparées par des anneaux de rocher ou par des roulisses en bois, qui supportent la maçonnerie supérieure.

Le muraillement des puits à grands et petits diamètres peut s'exécuter avantageusement, d'après le système J. Badiou qui a été avec succès employé au puits du Bardot, Compagnie des houil-

1. Les briques doivent être cuites à point : trop crues, elles se déliteraient; trop cuites, elles prendraient mal le mortier. Les briques sableuses sont cassantes et les briques calcaires, contenant de la chaux qui se laisse délaver par l'humidité, deviennent caverneuses. Le mortier employé doit être moyennement hydraulique faisant prise en quinze à vingt jours et contenant 9 à 10 0/0 d'argile; il doit être gâché très serré.

lères de Saint-Etienne. Ce muraillement est effectué au moyen d'un cintre mobile avec béton de ciment[1].

Ce cintre a été reconnu très avantageux au point de vue de la bonne exécution et de la rapidité du travail; on est arrivé à faire $3^m,75$ de hauteur d'excellent moellonnage en briques et $4^m,50$ de moellonnage en béton par journée de vingt-quatre heures. Le cintre mobile Badiou figurait à l'Exposition universelle de 1889, dans la section des mines de Firminy et Roche-la-Molière.

Blindage. — Le blindage se répand davantage depuis quelques années; il a l'avantage de supprimer les dangers d'incendie, d'obtenir un soutènement qui peut mieux épouser les contours des excavations et de permettre d'employer des matériaux qui gardent leur valeur et peuvent resservir; en revanche, le blindage donne plus de raideur.

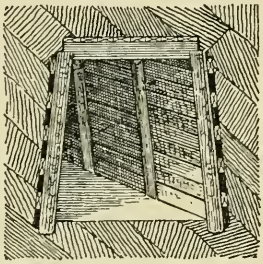


Fig. 40. — Chapeau en rail.

Dans les galeries, le blindage est souvent associé au boisage; dans les cadres employés, le chapeau en bois est remplacé par une vieille pièce en fer, généralement un vieux rail (fig. 40). Mais le cadre est souvent entièrement en fer; il comprend deux fers à T cintrés réunis par un manchon d'assemblage. On forme souvent aussi le cadre de trois rails courbes assemblés par des manchons d'accouplement. Ce blindage est couramment employé à Roche-la-Molière et Firminy. Un cadre de galerie à simple voie pèse généralement de 100 à 200 kilogrammes.

La figure 41 représente une galerie des mines de Lens, blindée seulement au toit par des fers à double T cintrés, espacés d'un mètre et réunis par de petits fers carrés munis d'œillets. Cette disposition, imaginée par M. Daburon, maintient les fers à double T, d'autant plus que la poussée du toit est plus énergique.

1. Nous renvoyons pour la description de ce système, au compte rendu de la séance du 4 juin 1887 de la Société de l'industrie minérale.

Le blindage des puits s'exécute par anneaux successifs, comme le tubage des trous de sonde, mais l'augmentation de diamètre complique le travail. Il se fait par anneaux pleins ou par panneaux.

Les anneaux sont en fonte de $1^m,50$ à 2 mètres de hauteur; les collets doivent être bien dressés, les joints se font au plomb. On dispose dans deux collets contigus un grain d'orge ou rainure

Fig. 41. — Galerie blindée.

circulaire et, dans deux grains d'orge voisins, on place un gros fil de plomb, qui en s'écrasant assure l'étanchéité du joint. Les anneaux sont généralement essayés à une pression double de celle qu'ils auront à subir de la part des niveaux aquifères.

Quand il faut tuber en-dessous d'une partie déjà tubée, on fragmente les anneaux en panneaux, entre lesquels on fait un picotage.

Souvent on blinde les puits par un double revêtement métallique. On place d'abord un revêtement muni de trous, on les

bouche avec des tampons de bois, et on place un revêtement intérieur étanche.

Après avoir indiqué comment on consolide les puits en tout terrain et les galeries en terrain moyennement résistant, voyons comment on les perce en terrain difficile.

PERCEMENT DES GALERIES

Poussage simple. — Le percement des galeries en terrain ébouleux s'effectue au *poussage simple.*

On dispose des cadres de boisage espacés d'environ 60 centimètres, et supportant sur leurs chapeaux un coffrage en palplanches jointives.

Ces palplanches reposent à l'extrémité postérieure sur le chapeau d'un cadre, au milieu sur le chapeau d'un autre cadre avec interposition d'un coin, et à l'extrémité antérieure sur le chapeau d'un troisième cadre, avec interposition d'un coin et d'un contre-coin ; ce dernier n'est là que provisoirement et est ensuite remplacé par la queue de la palplanche suivante.

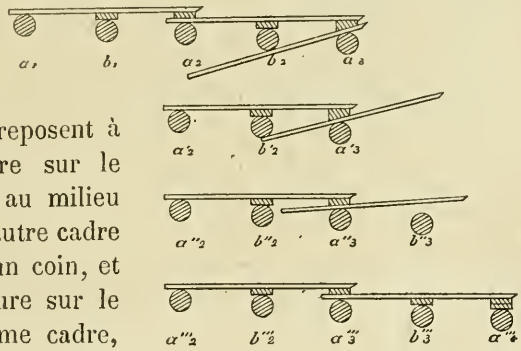


Fig. 42. — Poussage simple.

La figure 42 représente une série de positions successives de l'appareil ; les palplanches arrivées à leur place définitive présentent une inclinaison ascendante en avançant.

On introduit les palplanches successives à coups de masse et en grattant leur place ; quand on rencontre des blocs on les fait ébouler, ou s'ils sont gros on les fait sauter au moyen de petits coups de mine.

Au Creusot, la pose d'un cadre est faite en douze heures par deux bons ouvriers.

Poussage au bouclier. — Lorsque les terrains sont coulants, le garnissage devra être fait, non seulement pour le toit, mais pour les parois latérales et même sous les semelles des cadres, de manière à revêtir la galerie d'un coffrage complet (fig. 43). De même le front de taille est maintenu par un garnissage mobile appelé *bouclier*. Ce bouclier est formé de madriers horizontaux jointifs ; on fait avancer d'abord les madriers supérieurs, malgré la poussée de terrain, en les appuyant au moyen de cales contre les montants du dernier cadre de boisage. L'intervalle entre les madriers avancés et ceux qui restent en place est calfeutré au moyen de bouchons de paille.

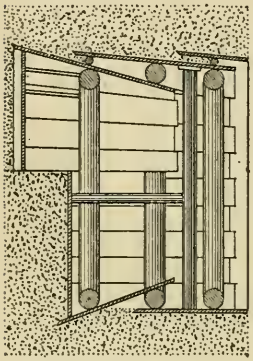


Fig. 43. — Poussage au bouclier (coupe verticale en long).

Le coffrage est constitué de troncs de pyramide évasés vers l'avancement et emboîtés les uns dans les autres. Les palplanches ne pourront donc toutes avoir une forme rectangulaire, il faut en avoir de trapézoïdales qu'on enfonce par le côté le plus large.

Quand la galerie est un peu large, le bouclier aurait trop de portée et la manœuvre des madriers deviendrait difficile ; dans ce cas, on divise le bouclier en deux parties, par un montant vertical portatif, établi en son milieu et relié aux montants du dernier cadre par des jambes de force.

Picotage. — Si le terrain est exceptionnellement coulant et presque fluide, on a recours au picotage (fig. 44), qui consiste à armer le bouclier de pyramides en bois à base carrée dites picots, qui pénètrent par leur pointe dans le terrain; souvent aussi on consolide la sole en y enfonçant des picots.

Poussage avec muraillement. — En général, ce boisage au poussage n'est pas suffisant et il faut murailler la galerie. A cet

effet, on déboise chaque élément du coffrage, en reculant, et en le remplaçant par un arceau en maçonnerie. S'il est difficile d'enlever le boisage avant de maçonner, on enserre la maçonnerie dans le coffrage et on enlève ultérieurement ce que l'on peut du boisage, en ayant soin d'amener la maçonnerie bien au contact du terrain.

Quelquefois l'inconsistance du terrain rend un boisage préalable impossible et on doit traverser le terrain par un poussage avec muraillement simultané. Le bouclier antérieur est alors relié à la maçonnerie par un bouclier latéral, qui consiste en une collerette entourant la maçonnerie et constituée par des palplanches en fer. Des trous permettent de les faire avancer en faisant levier avec une pince. Le bouclier est aussi, dans certains cas, soutenu par trois cadres en fer mobiles; au fur et à mesure qu'on avance, on démonte le cadre postérieur qu'on remonte en avant.

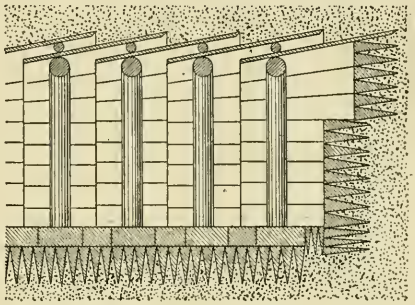


Fig. 44. — Picotage (coupe verticale en long).

Le percement des tunnels, décrit dans les ouvrages spéciaux aux chemins de fer et aux canaux, s'effectue dans les terrains inconsistants par la méthode de Rziha, fondée sur l'emploi de soutènements métalliques provisoires, précédant le muraillement. Le percement des tunnels dans les terrains aquifères par la méthode de Brunel, appliquée au tunnel sous la Tamise, est fondé sur le même principe que le percement d'une galerie par poussage et muraillement simultanés. Le bouclier de Brunel était constitué par un châssis métallique à 36 compartiments; chacun était formé par une série de madriers métalliques arc-boutés contre le châssis par des poussards à vis.

FONÇAGE DES PUITS

Nous allons maintenant procéder à l'étude du fonçage des puits. Ce fonçage ne part pas nécessairement du jour; on peut aussi avoir à ouvrir un puits intérieur ou à approfondir un puits; dans ce dernier cas, on fait à partir du fond du puits déjà percé une galerie, par laquelle on revient en-dessous de ce puits, en réservant un *stot*, et on perce sous stot, ce qui a l'avantage de continuer l'utilisation de l'ancien puits pour l'extraction, d'empêcher les eaux d'arriver dans le nouveau puits et de ne pas avoir à y redouter les chutes de minerai; on termine en perçant le stot de manière à faire le raccordement.

Fonçage sous stot. — Le fonçage sous stot peut s'exécuter en montant, en descendant, simultanément en montant et en descendant, ou enfin simultanément en montant et en descendant à partir de plusieurs points d'attaque tous situés sur une même verticale : on réalise ainsi le maximum d'avancement.

Mode montant. — On divise le puits en deux parties au moyen d'une cloison dirigée suivant un diamètre; l'une des parties est de même divisée en deux, suivant un rayon perpendiculaire à ce diamètre. Les mineurs s'élèvent dans la première moitié sur le remblai entassé sous leurs pieds, ils jettent l'excédent dans un des quarts; l'autre quart est réservé aux échelles : c'est par ce compartiment qu'un ventilateur force l'air à monter : il redescend par le compartiment du jet. Une fois arrivé en haut, le cloisonnement est défait par le haut et le remblai enlevé par le compartiment du jet.

Dans le *mode descendant*, on commence par épuiser les eaux et par foncer dans la partie latérale un petit bure de $1^{m},50$ de diamètre jusqu'à 5 mètres de profondeur. On établit à la partie inférieure une roulisse sur laquelle on pose un tube de fonte ouvert aux deux bouts, ayant 10 mètres de hauteur et 1 mètre de diamètre;

on garnit de béton le vide compris entre ce tube et les parois du bure. Puis, dans l'ancien puits, on monte un mur en briques jusqu'au sommet du tube en fonte, et on laisse revenir les eaux dans la partie du puisard où n'est pas le tube.

Un câble venant d'en haut monte une benne par l'intérieur du tube en fonte jusqu'au-dessus de ce tube. Des ouvriers sont placés dans une galerie latérale, débouchant dans le puits un peu au-dessus du tuyau de fonte; ils poussent un couvercle sur ce tube. Si la benne contient de l'eau, on la redescend jusqu'au couvercle et on la renverse dans le puisard latéral. Si elle contient de la terre, on place un wagonnet sur le couvercle, on descend la benne sur le wagonnet, on en déclavette le fond et la benne se vide dans le wagonnet que l'on tire dans la galerie latérale : on remonte la benne, on reclavette le fond, on enlève le couvercle et on redescend la benne. L'opération se poursuit régulièrement ainsi.

Fonçage en terrain solide. — Si le terrain est suffisamment solide, on n'a qu'à exécuter les opérations d'abattage et de soutènement, généralement par boisage.

Le boisage peut s'effectuer de bas en haut, en partant d'un cadre porteur encastré dans la roche, ou d'un cadre colleté, formé de voussoirs jointifs serrés contre la roche par des coins; les cadres sont nécessairement posés les uns contre les autres.

On peut aussi boiser de haut en bas, lorsque le terrain ne peut être laissé à nu que sur de faibles hauteurs. On part pour chaque travée d'un cadre porteur en rattachant chaque cadre au précédent par des écoins cloués.

Fonçage en terrain ébouleux. — Si le terrain est ébouleux, mais peu aquifère, on peut s'enfoncer au poussage par un procédé analogue à celui décrit pour les galeries, sans avoir besoin de bouclier. Les palplanches jointives de garnissage reposent chacune sur trois cadres de boisage avec ou sans interposition de coins. Mais dans les terrains ébouleux et aquifères, tels que ceux qui recouvrent beaucoup de charbonnages, il faut garnir le puits d'un cuvelage en bois, en fonte ou en maçonnerie.

CUVELAGE

Cuvelage en bois. — Ce cuvelage, imaginé dans le bassin houiller de Mons, n'a pas tardé à se répandre dans celui de Valenciennes qui en est le prolongement. Dans ces régions, le terrain houiller est recouvert de morts terrains crétacés, dont les assises supérieures sont très perméables; mais, à 80 mètres, règne un banc de marnes plastiques et imperméables, appelées *dièves,* qui maintiennent les eaux supérieures en protégeant contre leur invasion le terrain sous-jacent. Il faut cuveler les puits jusqu'aux dièves.

Fig. 45. Assise de cuvelage en bois.

Le fond du puits creusé est inscrit dans la dernière tranche de cuvelage posée (fig. 45); on continue à le creuser en l'élargissant peu à peu de manière à réserver une corniche qui supporte la dernière tranche de cuvelage. On descend ensuite avec une largeur constante jusqu'à une base assez solide pour supporter la tranche suivante. On réserve alors une banquette horizontale et on creuse au centre un puisard de 1 mètre environ de profondeur.

Les lecteurs trouveront dans les ouvrages spéciaux la façon détaillée dont se mettent en place des voussoirs en chêne taillés, on pourrait dire sculptés, avec le plus grand soin, derrière eux des lambourdes en bois blanc, et, entre les voussoirs et les lambourdes, des plats coins posés tête-bêche et des coins carrés en chêne séché au four.

L'aspect de ce travail est véritablement imposant : les hommes qui posent la trousse picotée travaillent sur tout le périmètre du puits en aussi grand nombre que possible, en ayant de l'eau quelquefois jusqu'à la ceinture, bien qu'on fasse agir toutes les pompes dont on dispose; le relai ne peut durer, pour ce dur travail, plus

de quatre heures, il est payé cinq francs. La pose d'une trousse exige de 24 à 48 heures.

Au-dessus de la trousse picotée on pose le cuvelage courant dont chaque assise est formée de voussoirs en chêne, analogues à ceux de la trousse picotée, mais d'épaisseur moindre. Si on a fait un boisage provisoire, il faut avoir soin de l'enlever avant la pose du cuvelage définitif; on l'enlève, s'il est nécessaire, morceau par morceau, à la hache; si l'enlèvement en est trop difficile, on inscrit le cuvelage définitif à l'intérieur du boisage primitif.

On coule, entre le cuvelage et la roche, du béton hydraulique pour protéger le cuvelage et pour pouvoir enlever, en cas de nécessité, un voussoir s'il a besoin d'être remplacé. On laisse, pendant ce travail, des trous de tarière pour permettre la venue de l'eau; mais, dès que le béton a fait prise, on bouche ces trous à l'aide de chevilles en bois que l'on enfonce à coup de masse.

Il faut aussi calfater avec de l'étoupe goudronnée tous les joints des voussoirs entre eux et avec ceux des trousses voisines. C'est l'opération du *brandissage*. A cet effet, on ouvre les joints avec un ciseau sur 2 ou 3 centimètres de profondeur et on bouche avec l'étoupe goudronnée; on fait ce travail du haut en bas de l'assise et on le refait ensuite avec plus de soin de bas en haut. On cloue aussi sur les joints des petites tringles en bois pour empêcher l'étoupe d'être expulsée par la pression de l'eau.

Il faut prendre des précautions spéciales quand on arrive, dans le cuvelage, à la corniche qui supporte la tranche supérieure. On enlève cette corniche par morceaux, en étançonnant la partie de la roche qui reste au-dessus. La pose du dernier cadre est une réelle difficulté. On mesure la hauteur qu'il doit avoir pour entrer sans jeu sensible. On introduit le béton par la droite et par la gauche de chaque voussoir. Quand on arrive à la dernière pièce, on la tient plus petite que le logement qu'elle doit occuper, on l'entre de biais et on la ramène en avant avec deux tire-fond, puis, et comme on peut, on introduit tout autour du béton très fin.

Cuvelage en fonte. — Les cuvelages en fonte peuvent repo-

Universitas
BIBLIOTHECA
Ottaviensis

ser sur des trousses colletées et picotées en bois, mais on peut aussi employer des trousses picotées en fonte. Chaque voussoir est une pièce creuse ouverte du côté de l'extérieur. Dans la cavité, on bourre des pièces de bois débordant vers l'extérieur et contre lesquelles on pose des lambourdes.

Le cuvelage courant se compose de voussoirs, dont chacun est muni de rebords sur tout son pourtour et de deux nervures diagonales, à l'intersection desquelles est disposé un trou; dans ce trou est posé un boulon, permettant d'amener la pièce en place, et remplacé ensuite par une broche en bois que l'on chasse à coups de masse. Entre les voussoirs contigus, du même étage ou de deux étages consécutifs, on interpose une planchette ou lambourde en sapin de quelques centimètres d'épaisseur.

L'étanchéité est obtenue par l'introduction, tout le long des joints, de plats coins de 10 centimètres de large sur 1 centimètre d'épaisseur et, entre ces coins, de picots à tête carrée de 1 centimètre de côté. Généralement, l'un des deux bords contigus présente un bourrelet saillant qui ferme le joint et empêche la lambourde d'être chassée au moment où l'on enfonce les coins et les picots.

Les rebords et les nervures se placent généralement à l'extérieur, de sorte que l'intérieur du puits présente une surface cylindrique régulière. La solution inverse pourrait être préférable au point de vue des cloisons à placer dans le puits.

Cuvelage en maçonnerie. — Ce mode de cuvelage est très usité dans le bassin de la Ruhr. On dispose à la base une trousse picotée dont les voussoirs sont en pierre. On la remplace parfois par un empâtement de la maçonnerie qui repose sur une banquette, non pas horizontale, mais inclinée vers l'extérieur du puits.

Le cuvelage courant est constitué de voussoirs taillés avec soin, dont les joints sont garnis de feuilles de plomb. Il peut aussi se composer de briques disposées en plusieurs rouleaux distincts, séparés par du mortier hydraulique.

Pendant la pose de la maçonnerie et jusqu'à ce que le mortier ait fait prise, on réserve, pour l'écoulement des eaux, des

petits conduits que l'on bouche ensuite avec des broches en bois.

Comparaison. — Le cuvelage en maçonnerie est le plus économique, mais le moins parfait. Par suite de la difficulté d'établir des reprises, il faut généralement l'exécuter en une seule fois, depuis le terrain imperméable jusqu'au-dessus du niveau d'eau; par suite, on n'arrive pas à diminuer, pendant le fonçage, le débit des eaux. De plus, la pierre n'étant pas élastique et se trouvant soumise à de fortes pressions, se casse et donne lieu à des fuites difficiles à boucher.

Le cuvelage en fonte est le plus cher. Comme le précédent, il se fendille sous l'effet des fortes pressions; mais on peut recouvrir assez facilement ces fissures au moyen de pièces rapportées. Il ne faut recourir à ce mode de cuvelage que quand la difficulté d'obtenir des bois sains et d'équarrissage convenable fait renoncer au cuvelage en bois, qui, à cause de son élasticité, est le meilleur. Les réparations y sont faciles, soit au moyen de coins et de picots pour aveugler les joints qui perdent l'eau, soit même au moyen d'une partie de cuvelage en fonte.

FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU PLEIN

Les méthodes qui précèdent ne permettent pas toujours de dominer des venues d'eau considérables, même en creusant simultanément deux avaleresses voisines, de façon à avoir dans chacune d'elles une moindre venue d'eau. De plus, ces venues d'eau produisent souvent des affouillements énormes, compromettants pour l'existence du puits[1]. Le *fonçage à niveau plein*, ou plutôt *sans épuisement*, permet de remédier à ces graves inconvénients; il économise la dépense d'épuisement, il évite les affouillements, le travail dans l'eau et le danger pour les ouvriers d'être noyés en cas d'arrêt de la pompe; enfin, dans ce cas, le cuvelage est fait à

1. Affouillement de 3000 mètres cubes dans un puits de la Moselle; aux mines de Marles un puits s'est effondré pendant le fonçage et un autre dix ans après.

l'extérieur avec une grande précision. Nous allons passer en revue les divers procédés qui permettent d'atteindre ces résultats.

Procédé de la trousse coupante. — Ce procédé, qui peut s'appliquer dans le fonçage tel qu'il vient d'être décrit, convient aussi dans le fonçage à niveau plein.

La trousse coupante permet de traverser les terrains qui manquent de consistance, le travail s'opère à la façon d'un sondage.

Le cuvelage, analogue au tubage des trous de sonde, peut être en bois, en tôle ou en maçonnerie, il s'exécute hors de terre; on munit la couronne inférieure d'un sabot tranchant qui coupe le terrain en le refoulant à l'intérieur; les terres refoulées sont ensuite enlevées. L'enfoncement est produit par le poids de la trousse et du cuvelage, surchargés s'il en est besoin. Il faut avoir soin que l'enfoncement soit bien vertical; on le contrôle avec soin, et, s'il se produit une déviation, il faut arrêter et recommencer le travail au moyen d'une trousse de diamètre moindre, surmontée d'un cuvelage inscrit dans le premier. Ce procédé, qui a été employé dans le percement du tunnel sous la Tamise, exécuté par Brunel, laisse beaucoup à désirer; il est très lent : à Ruhrort, il a fallu, en l'employant, dix-huit ans pour avancer de 130 mètres; d'autres fois, la trousse descend brusquement (à Rheinpreussen, descente subite de $11^{m},30$), ce qui est cause de dislocations. De plus, une fois en place, le cuvelage a subi de telles fatigues qu'il ne constitue plus une réelle défense; aussi ce procédé ne saurait être d'un bon emploi et il serait tombé dans l'oubli s'il n'avait été l'objet de remarquables améliorations réalisées par Triger, dont nous allons dire quelques mots.

Procédé Triger. — Dans ce procédé, on emploie l'air comprimé de manière à refouler les eaux et à permettre aux ouvriers de travailler au pied de la trousse.

Le cuvelage prolongé par des viroles successives est divisé par des cloisons en deux compartiments fermés. Le compartiment inférieur constitue la *chambre de travail,* qui reçoit l'air comprimé par un tube partant du compresseur et débouchant au plafond

(fig. 46). Au-dessus est le *sas à air,* que l'on met tour à tour en équilibre de pression avec la chambre de travail et avec l'extérieur. Les ouvriers, aussi bien que les matériaux, s'arrêtent un moment dans le sas, à l'entrée et à la sortie. On règle, au moyen d'un jeu de robinets, l'écoulement de l'air de la chambre de travail dans le sas ou du sas dans l'atmosphère. Deux trappes, s'ouvrant de dehors en dedans et qu'on n'ouvre jamais à la fois, servent à faire communiquer le sas avec l'extérieur et avec la chambre de travail.

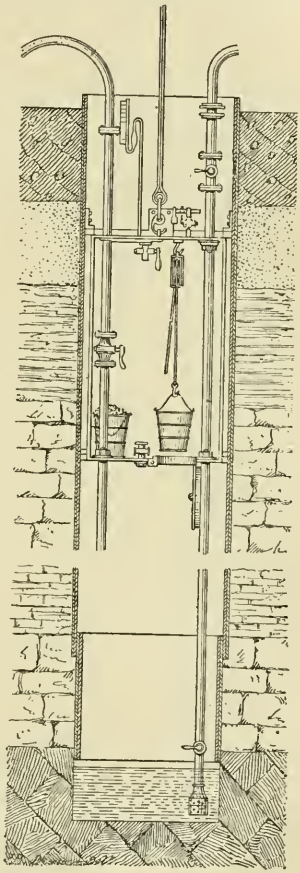


Fig. 46. — Fonçage Triger.

Deux tubes pénètrent de l'extérieur dans le compartiment inférieur : l'un y envoie l'air comprimé, l'autre, qui plonge dans un petit puisard, sert à l'épuisement.

C'est par ce tube, qui débouche dans l'atmosphère en se courbant en col de cygne au sommet du cuvelage, que monte l'eau en aspirant de l'air par un robinet plus ou moins ouvert; cet air entraîné forme avec l'eau une sorte d'émulsion d'une densité moindre que celle de l'eau. La hauteur de la colonne est ainsi augmentée. De plus, on se débarrasse ainsi, sans manœuvre spéciale, d'une certaine quantité de limon et de sable fin entraînée avec l'eau; il est vrai que c'est au prix d'une certaine dépense d'air, ce qui constitue un emploi de force peu économique, mais commode.

A la partie inférieure est la trousse coupante, formée d'une pièce en fer biseautée à laquelle est reliée solidement une char-

pente traversée par des boulons allant jusqu'au jour. Sur cette trousse repose le cuvelage, généralement en tôle.

Pour enfoncer la trousse, le travail se fait à la fois à l'extérieur et dans la chambre de travail. A l'extérieur, on agit sur les boulons dont nous avons parlé, en retenant ceux qui s'enfoncent trop et en appuyant sur ceux qui n'avancent pas assez au moyen de charges qui atteignent plusieurs centaines de tonnes. Dans la chambre de travail, les ouvriers excavent sous la trousse, surtout aux endroits où elle s'enfonce le moins. Quand on a atteint le terrain imperméable, on y place une trousse picotée.

On adopte pour l'enfoncement du cuvelage les deux dispositions suivantes. Tantôt le sas se trouve à une distance constante du fond, et au-dessus est disposé un autre compartiment qui s'allonge lors de la descente. Tantôt le sas est à la partie supérieure du système; du sas descend un gros tube fermé à ses bouts par deux trappes et permettant de n'évacuer qu'un volume d'air assez restreint en même temps que les matières que l'on doit enlever : cette disposition a l'inconvénient d'obliger à démonter le sas chaque fois que l'on veut ajouter une couronne et à l'assembler de nouveau ensuite à celle-ci.

Toutes les parties de l'appareil doivent être préalablement éprouvées à une pression double du maximum présumé. On a soin d'établir deux soupapes de sûreté s'ouvrant à la pression limite et des manomètres dont l'un se trouve à la disposition des ouvriers, un autre sur le compresseur et un troisième disposé en sifflet d'alarme. Malgré ces précautions, on a eu à constater des explosions : à Douchy, une explosion a coûté la vie à six ouvriers; la pression observée n'était cependant que de 2 atmosphères, et cependant celle d'épreuve avait été de 5 atmosphères; le fer était devenu cristallin et cassant.

L'éclairage doit être fait d'une manière particulière ; en effet, des lampes ou des bougies empliraient la chambre de travail de produits asphyxiants; aussi éclaire-t-on la chambre de travail comme l'entrepont des navires, au moyen de lentilles en verre qui

laissent tamiser le jour la lumière solaire, la nuit celle de lampes électriques, envoyée par des réflecteurs.

Si l'on doit tirer des coups de mine, il faut employer l'étoupille de sûreté et bannir les mèches soufrées qui dégageraient de l'acide sulfureux irrespirable.

La profondeur à laquelle on peut descendre avec le procédé Triger est limitée par des nécessités physiologiques. Il est imprudent de placer des hommes, dans de l'air comprimé à plus de 3 atmosphères[1]. L'ouvrier ne peut rester par jour plus de 4 à 5 heures dans la chambre de travail. La compression de l'air dans les poumons produit rapidement des effets fâcheux. Certains ouvriers ne peuvent même supporter ce genre de travail. C'est surtout dans les oreilles que se manifeste le malaise, qui dégénère en surdité temporaire. Le timbre de la voix devient nasillard : il est impossible de chanter ou de siffler. Ces effets paraissent dus plus à la tension propre à l'oxygène qu'à la pression totale de l'air. On fait séjourner les hommes dans le sas à l'entrée et à la sortie, pour obtenir une transition douce. Mais l'air, en se détendant pour passer de la chambre de travail dans le sas, se refoidit, et les hommes, en séjournant dans le sas, gagnent des refroidissements. On doit les obliger à mettre des vêtements chauds dans le sas, et à séjourner à la sortie dans une salle chauffée.

Procédé Guibal. — Ce procédé (fig. 47), qui consiste à faire le fonçage dans l'eau, de façon à éviter tout affouillement du terrain, fait intervenir, comme les précédents, une trousse coupante; mais l'ouvrier produit l'affouillement de la surface au moyen des procédés de sondage. Par un tube central qui monte jusqu'au jour, on introduit soit un trépan pour battre un puisard central, soit des élargisseurs qui agissent au-dessous d'un bouclier. Des cloches à soupapes pénètrent également à travers ce tube pour enlever les déblais.

La trousse est munie d'un fourreau métallique, faisant corps

1. Cependant on a pu atteindre à Douchy jusqu'à $4^{atm},5$.

avec un bouclier annulaire, au centre duquel s'élève le tube central que l'on prolonge lors de la descente au moyen de viroles au-dessus du niveau des eaux. Ce fourreau s'appuie aussi sur l'extrados du cuvelage déjà posé ; il en est séparé par un joint étanche formé de bandes de caoutchouc. La chambre de travail, qui a pour plancher le bouclier, renferme 16 presses hydrauliques, dont 2 sont placées sous chacune des 8 pièces de la dernière caisse de cuvelage.

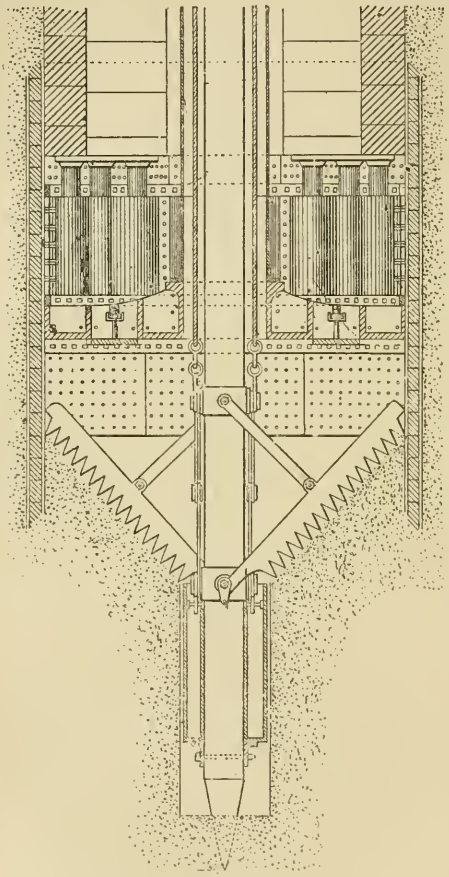


Fig. 47. — Fonçage Guibal.

Quand le terrain est suffisamment affouillé, on procède à l'enfoncement : les hommes remontent au jour et l'on fait arriver l'eau librement au-dessus du bouclier : on n'a plus à vaincre que le frottement des terres. On met en action les presses à partir de la surface au moyen de tuyaux, en continuant les dragages. Une fois l'enfoncement suffisant, on épuise l'eau au-dessus du bouclier : les ouvriers descendent et posent un nouveau cadre pièce par pièce, en substituant à chaque presse un voussoir sous lequel ils arc-boutent de nouveau la presse.

Ce procédé très ingénieux n'a été appliqué qu'une fois, au

puits Bonne-Espérance (Belgique), pour traverser 25 mètres de sables coulants très aquifères, à 80 mètres de profondeur. Il n'a pas réussi, parce que la surface de jonction du sable mouvant et du terrain houiller était très inclinée et qu'au moment où le bouclier reposait déjà sur le terrain solide d'un côté, il laissait de l'autre un libre écoulement à l'eau et au sable. Néanmoins, ce procédé, très rationnel, semble devoir être susceptible d'emplois plus heureux.

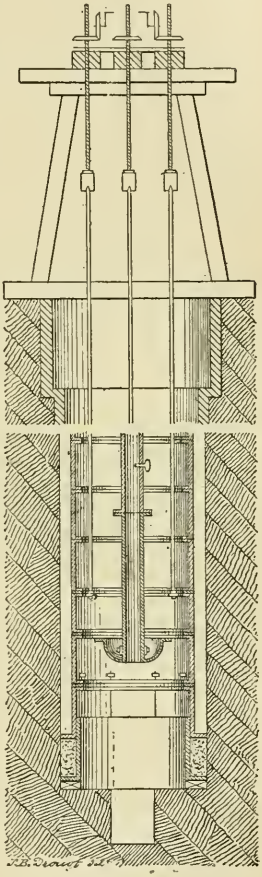


Fig. 48. — Fonçage Chaudron.

Procédé Chaudron. — Combes avait, dès 1844, émis l'idée de foncer les puits par le sondage. Kind, en 1847, à Styring (Moselle), et Mulot, à Henin-Lietard (Pas-de-Calais), cherchèrent à réaliser cette idée ; mais ils n'arrivèrent pas à obtenir un cuvelage étanche. En 1853, M. Chaudron, ingénieur au corps des mines belge, inaugura l'application du procédé et imagina le *tube d'équilibre* et la *boîte à mousse*.

L'opération comprend deux parties : le sondage et l'établissement du cuvelage (fig. 48).

On commence par étudier avec le plus grand soin le terrain au moyen de la sonde et on fait ensuite le puits dans l'emplacement même du sondage. Le diamètre du puits varie généralement de $1^m,50$ à $4^m,30$. Dans certains cas, on commence par creuser un petit puits de 1 mètre à $1^m,50$ de diamètre ; quand il est en avance de 20 ou 30 mètres sur le grand, on bat au large la couronne afin de laisser tomber les débris dans le petit puits dont on fait ensuite le curage. Mais, en général, on préfère foncer le puits directement à

son diamètre. On se sert d'un trépan en double Y (fig. 49) de 20 à 30 tonnes, formé de cinq lames dont celle du centre est courbe et plus élevée que les autres. On arrive ainsi à bien battre la circonférence et à réunir les déblais au centre. On les enlève au moyen d'une cloche à clapets, parallélipipède rectangle en tôle avec une tige centrale soulagée par des tringles. A la partie inférieure se trouvent de nombreuses soupapes constituées par des calottes sphériques munies de tiges qui traversent la partie supérieure et y sont prises dans des collets; sur les faces latérales se trouvent des portes de vidange.

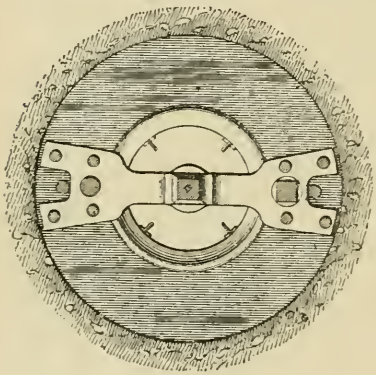


Fig. 49.
Trépan fourchu en double Y.

Le cuvelage est constitué d'une série d'anneaux en fonte d'une seule pièce, de $1^{m},50$ environ de hauteur et d'une épaisseur de 15 à 40 millimètres. Il s'accroît à son sommet par la superposition d'anneaux successifs; il descend sans couper le terrain, en laissant un certain jeu. Chaque anneau porte, à sa partie inférieure et à sa partie supérieure, un rebord intérieur. Ces rebords sont assemblés au moyen de nombreux boulons; on a eu soin de les raboter sur le tour de manière à obtenir un contact parfait; de plus, on pratique dans chacun d'eux un grain d'orge circulaire dans lequel on insère un gros fil de plomb qui s'écrase par le serrage des boulons. Toutes les pièces du cuvelage sont éprouvées à une pression d'au moins 15 atmosphères. Le dernier anneau du cuvelage, au lieu d'être muni à sa partie inférieure d'un rebord intérieur, comporte un rebord extérieur remontant un peu vers l'extérieur. La *boîte à mousse* est un cylindre en tôle inséré en bas dans cette dernière travée de cuvelage et muni à sa partie inférieure d'un rebord descendant vers l'extérieur. On accumule de la mousse nettoyée de

terre à l'extérieur de ce cylindre, entre son rebord et celui du dernier anneau de cuvelage, et on la retient sur le pourtour, pendant la descente. par un filet solide.

A une certaine distance au-dessus de la boîte à mousse est disposée, à l'intérieur du cuvelage, une couronne à laquelle est rivé un fond se prolongeant par un long tube, dit tube d'*équilibre,* qui monte au jour. L'eau prend dans ce tube son niveau naturel. Le tube d'équilibre est composé de viroles successives, percées de trous filetés qu'on peut fermer par des vis, et par lesquels on laisse passer de l'eau en quantité suffisante pour donner au cuvelage un excédent de poids de 20 à 30 tonnes par rapport à l'eau déplacée; cet excédent de poids est supporté par six tringles de suspension filetées en vis à leur partie supérieure et passant dans des écrous supportés par une charpente. En tournant ces derniers, on fait descendre tout le système bien verticalement de la longueur d'une couronne de cuvelage. On soutient le cuvelage sur une clé de retenue, on démonte les tringles, on enlève le cadre de charpente et on amène une couronne de cuvelage, que l'on boulonne à la précédente; on remet les tiges, le cadre de charpente, on retire la clé de retenue, après quoi l'on reprend la descente.

Dans la descente, le diamètre du puits étant un peu plus grand que celui de la boîte à mousse, celle-ci n'accroche pas aux parois. Lorsque le rebord extérieur de la boîte à mousse touche le fond, elle s'arrête; le cuvelage continue néanmoins à descendre; la mousse, qui, au début, occupait une hauteur de $1^{m},60$, se trouve comprimée sur $0^{m},30$, et la pression y atteint environ 25 kilogrammes par centimètre carré. Par suite de la conicité des brides, la mousse est repoussée contre le terrain et établit une ceinture absolument étanche.

La descente terminée, on cale le cuvelage à la partie supérieure et on le laisse sur les tringles. Il faut alors réunir le cuvelage à la roche à l'aide d'un remplissage extérieur de béton, ce qui a aussi pour but d'interrompre les niveaux d'eau et de permettre à la boîte à mousse de n'avoir à résister qu'au dernier niveau. Le béton ne

peut être versé à la pelle, car la chaux se dissoudrait et le sable seul arriverait au bas; on le descend dans des cylindres appelés *cuillers*. Ces petits vases portent, à leur partie inférieure un anneau et contiennent un piston au-dessus duquel on tasse du béton, en le serrant assez pour qu'il ne s'échappe pas de lui-même, quand on tient la cuiller renversée; le cylindre est du reste partiellement fermé en haut par de petites pattes. La cuiller est retournée et suspendue par son anneau à une corde. On la descend sans faire sortir le béton. Quand elle est parvenue au fond, on sonne plusieurs fois, le piston tombe et chasse le béton; les pattes de la cuiller retiennent le piston.

Une fois le béton pris, on fait l'épuisement et on descend dans le puits; on dévisse alors par portions les diverses pièces situées dans son intérieur, et on continue le fonçage, ce qui ne présente pas de difficultés, car il n'y a plus d'eau; on pose au fond deux trousses picotées que l'on relie au cuvelage au moyen de panneaux assemblés avec un brandissage soigné, ou en mettant du plomb dans tous les joints.

Ce procédé a subi, dans divers puits récents, des simplifications importantes. Au moment où nous écrivions ces lignes (avril 1890), on battait au trépan à Bruay, sur $5^m,05$ de diamètre, un puits devant avoir $3^m,95$ de diamètre libre. On devait y descendre le cuvelage sans tube d'équilibre ni boîte à mousse, en le laissant flotter, sommairement guidé. On se proposait de soigner particulièrement, à la partie inférieure, le bétonnage épais de $0^m,30$ formant joint entre les parois du puits et le cuvelage.

Procédé Poetsch. — Il nous reste à dire quelques mots d'un procédé ingénieux de fonçage à niveau plein imaginé par M. Lambert, professeur à l'École des mines de Louvain, et appliqué avec succès par M. Poetsch en 1883[1].

Il a subi depuis lors plusieurs applications heureuses sur une plus grande échelle. Ce procédé consiste à congeler de la manière

1. M. Lebreton, *Annales des mines*, 1885, et M. Alby, *Annales des mines*, 1887.

suivante une partie d'une couche aquifère dans laquelle on veut foncer un puits. On y enfonce une vingtaine de tubes creux en fer obturés à la base, terminés par des sabots tranchants, et contenant à leur intérieur des petits tubes en fer par la partie supérieure desquels on introduit une solution de chlorure de calcium à 21° Baumé, refroidie notablement au-dessous de 0° par l'évaporation de l'ammoniaque liquide. En un mois, on congèle la masse sur une étendue circulaire dépassant de 1 mètre le rayon du puits. On perce un puits dans ce conglomérat artificiel, dont la température est d'environ — 2°, et on muraille soigneusement ses parois en employant des ciments à prise rapide.

CHAPITRE VI

TRANSPORTS SOUTERRAINS

La matière abattue doit être transportée dans la mine et sortie au jour.

Dans les exploitations à ciel ouvert, les transports s'effectuent simplement par brouettes, tombereaux ou wagons, et il est inutile d'entrer dans aucun détail à ce sujet. Il en est autrement dans les exploitations souterraines, et nous allons décrire le mode de transport des matières à travers les artères de l'exploitation, galeries ou puits, dont nous venons d'indiquer la création.

PROCÉDÉS DIVERS

Portage. — Les transports sur des voies horizontales ou faiblement inclinées ont d'abord consisté en un *portage* à dos d'homme. Ce système barbare, autrefois très en usage, est aujourd'hui abandonné presque partout, mais relativement depuis peu de temps; il a été adopté jusqu'en 1859 à Allevard et l'est encore dans les soufrières de Sicile, où les hommes portent à dos des charges de 20 à 30 kilogrammes à travers des passages tortueux, glissants et très inclinés. En Amérique, dans les mines de métaux précieux du Mexique et du Pérou, le minerai est encore porté par des hommes.

Traînage. — Le traînage sur le sol par glissement simple se fait à l'aide de *bennes à patins* (fig. 50), sorte de paniers munis de deux patins de fer ou de bois. L'homme les tire avec une corde ou une chaîne, attachée à une ceinture de cuir ou à une bricole; en se mettant en avant ou en arrière de la benne, il fait effort pour faire avancer la benne ou pour l'empêcher d'aller trop vite, suivant la pente de la voie; quand celle-ci atteint 30°, on relie une benne pleine à une benne vide au moyen d'une corde qui passe sur une poulie de renvoi disposée à la partie supérieure; on équilibre ainsi les deux poids morts.

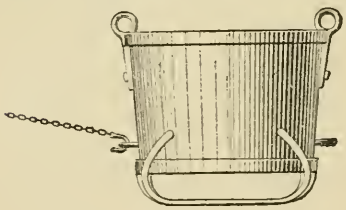


Fig. 50. — Benne à patins.

La voie doit être résistante et pourtant plastique.

La charge peut varier en palier entre 60 et 120 kilogrammes.

Dans les galeries larges, il vaut mieux opérer le traînage au moyen de chevaux qui tirent une grande benne ou un train de petites bennes.

Brouettage. — La brouette diminue le travail du frottement

de glissement dans le rapport du rayon du tourillon à celui de la roue, mais il introduit la résistance, d'ailleurs assez faible, au roulement. Avec une brouette à deux roues, dont le centre de gravité se trouve verticalement au-dessus de l'essieu, l'homme ne porte aucune partie du poids. On doit s'arranger pour n'avoir jamais de rampes à gravir avec une brouette chargée; quand on descend une pente, on fait frein en posant à terre les pieds de la brouette chargée.

Chemins de bois. — Ils ont été très en usage, notamment en Allemagne.

Ils consistent en une voie formée de deux longuerines parallèles à 3 centimètres de distance, chevillées sur des traverses

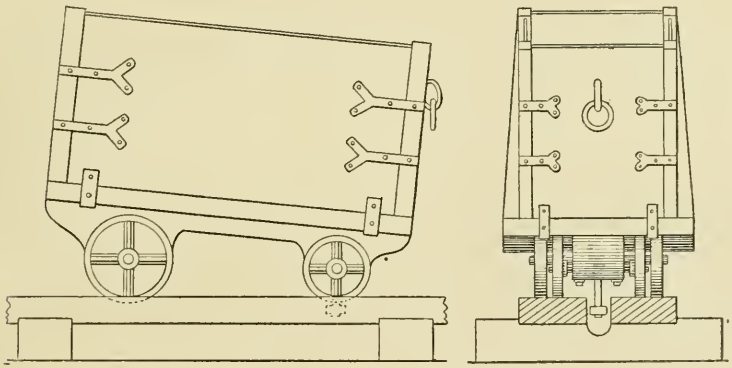


Fig. 51 et 52. — Chien de mine.

posées à terre et supportant les roues du véhicule. Celui-ci est muni d'un clou qui pend dans l'entre-voie. Le véhicule porte le nom de *chien de mine* (fig. 51 et 52). La caisse, très solide, est étroite à cause du rapprochement des voies, et longue pour racheter sa faible largeur; les roulettes sont placées sous la caisse; des deux essieux, celui d'avant est tout à fait à la partie antérieure pour faciliter le basculement, l'autre porte de plus grandes roues et est un peu plus rapproché du centre de gravité. Le chien de mine est

poussé par un gamin qui s'appuie sur l'arrière afin de soulager l'avant, pour faciliter le roulement des petites roues. Si le chien de mine est trop grand pour basculer en avant, sa face antérieure est rendue mobile autour d'une charnière transversale, disposée à la partie supérieure. En la déclavetant à la base, on la fait ouvrir par la pression de la charge, qui s'écoule alors. Le véhicule étant ainsi allégé, on peut soulever l'arrière pour achever le déchargement. Quand deux chiens de mine se croisent, on fait basculer sur le côté le vide, pour laisser passer celui qui est chargé. Cette manœuvre nécessite un véhicule très solide.

Navigation souterraine. — Quelques mines possèdent des galeries d'écoulement, qui peuvent être utilisées comme voies de transport par bateaux. L'ingénieur Bradley a appliqué ce procédé dans la mine Worsley, où il a tracé 64 kilomètres de canaux souterrains répartis en trois étages, dont l'étage moyen était relié avec les docks de Manchester par un canal de navigation à ciel ouvert. Les bateaux étaient tirés par des haleurs qui prenaient appui sur une main courante fixée au plafond de la galerie. Le canal était partagé en travées par des vannes qu'on ouvrait successivement devant le train de bateaux, de manière à déterminer un courant facilitant l'entraînement du train. Les niveaux supérieur et inférieur étaient reliés au niveau moyen par des puits servant à la circulation des bennes qu'on chargeait sur des bateaux pour le transport horizontal.

A Clausthal (Hartz), les galeries navigables débouchent au pied du puits d'extraction. Un homme debout hale en s'appuyant sur une main courante et mène deux barques contenant ensemble 6700 kilogrammes; il fait par jour deux voyages de 1900 mètres et deux voyages de retour avec les bateaux vides, ce qui permet d'obtenir un rendement journalier de 25 tonnes kilométriques.

Ce système est très économique. Il présente malheureusement de graves inconvénients, qui le rendent généralement inapplicable. Les frais de premier établissement sont considérables, et une semblable organisation ne peut être créée que quand on a un massif

considérable, assuré d'une longue production. Il faut avoir de grandes distances à parcourir, sans quoi le chargement et le déchargement prennent trop d'importance. On ne peut employer ce procédé que dans des roches très compactes, non fissurées. Le réseau ne peut pas se ramifier pour conduire jusqu'aux tailles. Un bateau coulé, ou même un moindre accident, arrête tout le service; enfin, les réparations sont difficiles et coûteuses.

Circulation aérienne. — Le système Palmer, imaginé à Rive-de-Gier, où la sole était toujours en mouvement, est aujourd'hui abandonné; il se composait d'un rail unique fixé sur une longuerine rattachée à la paroi de la galerie par des écoins, un cuveau était suspendu au-dessous d'une roue qui circulait sur le rail; mais, la paroi n'étant pas beaucoup plus solide que le sol, le résultat fut défectueux. On peut aussi avoir recours à un rail constitué par un câble en fer tendu entre les deux extrémités de la travée à parcourir; mais c'est surtout pour les transports à ciel ouvert dans les pays de montagnes que ce genre de voie est économiquement applicable (système Balan et système Hogdson).

Citons, dans cet ordre d'idées, le funiculaire de Vajda Hunyad à Vadudobri, en Transylvanie, dont le parcours total est de 31 kilomètres, en 8 sections[1].

CHEMINS DE FER DANS LES MINES

C'est dans les mines que les chemins de fer ont pris naissance; du sein de la terre, ils se sont répandus à la surface. La question des *chemins de fer* a été remarquablement bien traitée dans un volume déjà paru de la Bibliothèque des sciences et de l'industrie. Mais le chemin de fer minier diffère sensiblement du chemin de fer usuel, et c'est pourquoi nous devons en dire quelques mots.

1. MM. Bochet et Lebreton, *Annales des mines*, 1886.

Voie ferrée. — Elle comprend deux rails, généralement du système Vignole, en fer ou en acier, posés chacun sur des traverses en bois ou sur des longuerines en bois, qui reposent elles-mêmes sur les traverses. Quelquefois, on emploie comme rail une simple barre de fer placée de champ dans une encoche longitudinale de la longuerine et calée avec celle-ci par des coins en bois, ou bien un fer cornière calé par des tampons sur la longuerine.

La longueur du rail est de 5 à 6 mètres sur les voies destinées à une certaine durée, et de 2 à 3 mètres seulement pour celles qui sont souvent remaniées. Les bouts sont coupés d'équerre ou en biseau. Les rails peuvent être sensiblement jointifs, vu la constance relative de la température. On les réunit bout à bout au moyen d'éclisses fixées à chacun d'eux par deux boulons. La largeur de voie est comprise entre $0^m,40$ et $0^m,90$; les traverses dépassent la voie de $0^m,10$ de chaque côté et leur espacement varie de $0^m,60$ à 1 mètre. L'équarrissage des bois employés est ordinairement de $0^m,08$ sur $0^m,10$. Le poids du rail par mètre courant varie de 3 à 10 kilogrammes pour des véhicules pesant, pleins, de 300 à 1600 kilogrammes.

Aux têtes de voie, on dispose une plaque de fonte striée pour assurer le pied des chevaux; elle porte l'amorce des rails, et entre eux se trouve une ogive qui facilite l'engagement des wagons sur les rails.

Aux croisements de voie, on installe une plaque métallique portant des dispositions analogues pour les diverses voies qui partent du croisement. A la traversée d'une voie très parcourue par une voie peu fréquentée, on laisse intacts les rails de la première voie, on coupe ceux de la seconde sur une largeur un peu supérieure à celle des roues, et on les place au-dessus des premiers à une hauteur égale à celle du boudin de la roue. On fait ainsi passer librement les wagons sur la première voie et, au passage sur la seconde, le boudin des roues est supporté par le rail transversal pendant l'interruption du rail qu'il suit.

Dans les bifurcations de voie, analogues à celles employées

ordinairement dans les chemins de fer, on adopte des dispositions spéciales, suivant le nombre des voies et suivant l'ouverture de leur angle.

On termine par des aiguilles mobiles les rails intérieurs qui doivent se raccorder tangentiellement avec les rails extérieurs.

On supprime généralement l'aiguille dans les voies sur lesquelles ne circulent que des wagons isolés; on la remplace, comme à Graissessac, par une plaque de fonte munie de rails disposés de telle sorte qu'un wagon qui aborde une semblable bifurcation ait pour chaque essieu deux moments où un seul des boudins guide le wagon.

Comme les lignes sont presque toujours à voie unique, on dispose de distance en distance des gares d'évitement séparées en général de la voie principale par un mur et près desquelles aboutissent des cheminées ou des plans inclinés.

Nous n'insisterons pas ici[1] sur la question des pentes; on arrive aisément à calculer la force nécessaire pour faire descendre le wagon sur une pente déterminée, et c'est là ce qui sert à fixer la pente exacte que l'on donnera à chaque partie de voie.

Les voies sont formées d'alignements droits réunis par des arcs de cercle; dans les courbes, on augmente le nombre des traverses. L'effort exercé par le wagon sur la voie est la résultante de son poids et de la force centrifuge fictive; pour qu'il soit normal à la voie et qu'il ne tende pas au renversement du wagon, il faut donner au rail extérieur un certain surhaussement calculé d'après la vitesse. Un wagon qui passe trop vite tend à dérailler en dehors, et s'il passe trop lentement, il peut dérailler en dedans. On donne aux jantes des roues une certaine conicité, de telle sorte que si, par exemple, le wagon tend à dérailler en dehors, la roue extérieure s'élargit et la roue intérieure se rétrécit. Chacun de ces effets augmente le dévers du wagon et détruit la tendance au déraillement. Le cheval qui tire le wagon est placé dans l'axe de la voie, et

1. Voir l'article Traction, *Dictionnaire de l'industrie et des arts industriels*, par E.-O. Lami.

l'effort de traction a une composante normale qui combat la force centrifuge.

Les deux essieux du wagon étant parallèles entre eux, on donne aux jantes des roues et aux rails une épaisseur d'autant plus forte que la distance des deux essieux est plus grande.

Dans un alignement droit, les roues peuvent simultanément rouler sans glisser; mais dans une courbe, si les roues sont cylindriques et calées sur les essieux, la roue extérieure et la roue intérieure glissent en sens contraire de quantités dont la somme est égale à la différence des deux arcs de courbe. Dans la pratique, par suite de la conicité des jantes des roues, la roue extérieure roule sur un plus grand rayon, la roue intérieure sur un plus petit rayon, et la conicité peut être telle que le glissement soit supprimé.

Matériel roulant. — Les wagons sont à deux essieux parallèles portant chacun deux roues à jantes coniques qui peuvent être calées sur les essieux, comme dans les wagons de chemins de fer ordinaires (ce système a l'inconvénient de produire un mouvement de lacet, si la charge est mal répartie), ou folles, comme dans les voitures ordinaires (ce dernier système a le défaut d'exposer le véhicule à supporter mal les chocs qu'il peut recevoir).

Les roues, qui étaient autrefois en bois, sont aujourd'hui métalliques. Elles sont ordinairement entièrement venues de fonte; on peut faire la jante en fer ainsi que les rayons; on fait aussi des jantes en fonte entourant une plaque de tôle plane ou ondulée percée d'un trou, pour l'introduction de la barre d'enrayage. On substitue également, à la fonte et au fer, l'acier afin d'alléger le matériel.

Le rayon de la roue doit être assez grand pour diminuer l'effort de traction nécessaire et pour empêcher les boîtes à graisse d'être envahies par les poussières et la boue du sol; il ne doit pas être trop grand, pour ne pas tendre au déraillement.

Quand la jante est en fonte, on la coule en coquille pour en augmenter la résistance. Les jantes à gorge constituent un bon guide pour le wagon; celles qui sont coniques conviennent bien au

double point de vue de la force centrifuge et du glissement dans les courbes.

La fusée doit être aussi mince que possible, mais elle doit être très solide ; aussi la fait-on généralement en acier.

Le graissage doit être fait régulièrement, mais pas trop abondamment : on préfère confier ce service aux rouleurs, en leur faisant payer la graisse.

Dans certaines exploitations minières, les wagons restent constamment dans la mine et leur contenu est déchargé au pied du puits dans un cuffat, qui est monté à la surface ; généralement ils montent jusqu'au jour, ce qui évite les transbordements et rend le contrôle plus facile ; mais, par contre, ce système augmente le poids suspendu aux cables d'extraction ; dans certains cas, les wagons sont plats et restent constamment dans la mine ; on charge sur eux des petites bennes qui vont dans les tailles et qui montent au jour ou déversent leur contenu dans un cuffat ; malheureusement, on augmente ainsi le poids mort des trains.

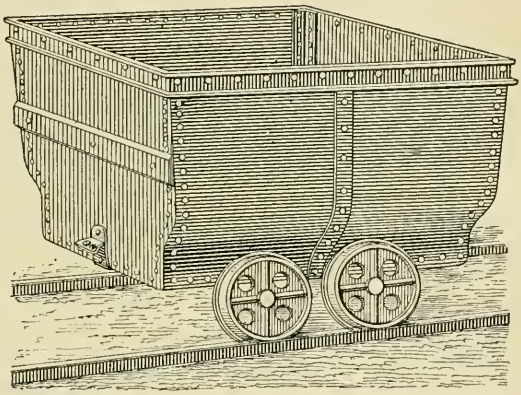


Fig. 53. — Berline au charbon de Lens.

Les véhicules des mines, qui portent les divers noms : *wagons, wagonnets, berlines, bennes à roulettes, bennes roulantes,* sont construits en bois ou en tôle. Le bois donne de la légèreté, son emploi est économique, les wagons sont faciles à réparer et ne sont pas altérés par les eaux acides des mines ; mais la tôle, aujourd'hui plus usitée, permet d'obtenir une plus grande durée et se prête

mieux aux formes courbes. L'acier tend à se substituer à la tôle; la figure 53 représente une berline au charbon en acier, construite pour les mines de Lens par la maison Taza-Villain.

On emploie également des bennes ovales en bois et en tôle, des bennes à frein, des trucs pour bennes ou paniers, des wagonnets basculant sans porte, des wagons avec portes à fermeture automatique (Taza-Villain). Quand la hauteur des galeries est très restreinte, comme dans les mines de schiste cuivreux du Mansfeld, dont nous avons déjà parlé, on emploie de petits chariots de

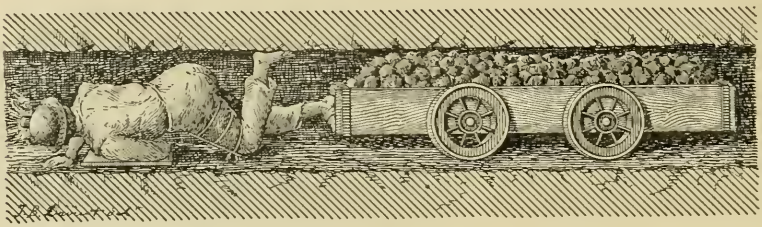


Fig. 54. — Chariot du Mansfeld.

$0^m,20$ de hauteur (fig. 54). Le rouleur, âgé de quatorze à dix-huit ans, attache sous sa cuisse gauche une planchette en bois armée, à sa partie antérieure, de deux petits pieds en fer. Pour protéger l'avant-bras, il saisit de sa main gauche une planchette analogue, munie d'une poignée, et rampe sur le côté gauche. A son pied droit est attaché, avec une courroie de cuir, le chariot qu'il pousse ainsi jusqu'à la galerie des chevaux.

La hauteur habituelle des mines permet heureusement un mode de transport moins barbare avec les wagonnets dont nous avons parlé plus haut. Ces wagonnets doivent être assez petits pour pouvoir être facilement remis sur les rails en cas de déraillement. Leur poids mort varie d'habitude de 100 à 400 kilogrammes; quant au poids utile, il est double et même triple du poids mort; le prix de ces wagonnets est d'environ 0 fr. 50 au kilogramme.

Les wagons isolés sont poussés par des enfants ou par des

hommes. On réunit souvent les wagons en trains qui peuvent comprendre 100 wagons et qui sont traînés par des chevaux ou par de petites locomotives à vapeur. Celles-ci, en raison de leur légèreté, sont exposées à patiner, étant donné surtout que les rails sont glissants, par suite de la condensation de la vapeur; on y remédie en augmentant l'adhérence par du sable, ou mieux, en dirigeant sur le rail un jet de vapeur d'eau.

Malheureusement les produits de la combustion vicient l'atmosphère de la mine; on y a remédié par l'emploi de machines sans foyer, et, d'une façon plus heureuse, par celui de petites locomotives à air comprimé (système Mékarski, etc.); signalons aussi les locomotives électriques des mines de Zaukeroda (Saxe), agissant sur un parcours de 620 mètres, transportant très économiquement 800 chariots par jour[1], et mises en mouvement par un courant issu d'une dynamo installée à la surface.

PLANS INCLINÉS ET VALLÉES

Les plans inclinés sont des galeries de forte inclinaison sur les rails desquelles, au moyen d'un câble en chanvre ou en fil de fer ou d'une chaîne en fer, on retient les véhicules qui descendent par leur poids.

Pendant qu'un wagon chargé descend le long du plan incliné, son poids est utilisé pour faire remonter un wagon vide en haut du plan (*plan automoteur*) ou à un niveau supérieur (*plan bisautomoteur*).

Les vallées sont des galeries de forte inclinaison sur lesquelles on monte les wagons pleins par une machine spéciale.

Quand on ferme les voies d'accès des plans inclinés ou des vallées par le système Dreikaus, on ne peut ouvrir la barrière que lorsque le wagon se présente au niveau correspondant, et le véhi-

1. M. Lebreton, *Annales des mines*, 1887.

cule ne peut se mettre en mouvement que si la barrière est fermée. Il existe divers autres systèmes analogues.

Plans automoteurs. — Les plans inclinés automoteurs sont fréquemment employés dans les mines. Leur fonctionnement peut avoir lieu de deux manières différentes, suivant que le wagon plein remonte directement le vide (double effet) ou que, dans sa descente, le wagon plein fait remonter un contrepoids, qui, à son tour, fait monter le wagon vide (simple effet).

Dans les plans à double effet, on peut avoir deux voies parallèles avec une entre-voie dans toute la longueur du plan : c'est le mode le plus simple, mais il exige une grande largeur de galerie; aussi réduit-on l'entre-voie, ce qui présente des inconvénients pour la sécurité du personnel.

On peut avoir trois rails, c'est-à-dire deux voies avec un rail commun en réservant une entre-voie seulement dans la partie centrale. Enfin le plan peut n'avoir que deux rails, c'est-à-dire une seule voie, sauf dans la partie centrale, qui comprend une gare d'évitement terminée par des aiguilles qui alternativement sont manœuvrées par le talon et franchies en pointe; le fonctionnement des aiguilles est quelquefois défectueux et il en résulte des déraillements, ce qui rend le système à deux rails inférieur à celui à trois rails.

Dans les plans à simple effet, le contrepoids consiste en un chariot qui circule sur une voie placée à côté de la voie principale et plus étroite, car elle est affectée exclusivement à ce petit véhicule spécial.

La voie du contrepoids peut être située entre les rails de la voie principale et le chariot être assez bas pour passer en dessous de la berline dans la partie centrale, grâce à une variation de l'inclinaison.

Le plan incliné peut ne présenter qu'une seule voie : le contrepoids descend alors dans un bure ou faux puits vertical, pratiqué à la tête du plan et dont la hauteur est telle que, multipliée par le poids, elle soit intermédiaire entre le travail moteur de la descente

d'un wagon plein et le travail résistant de la montée d'un wagon vide.

La pente d'un plan automoteur doit être au minimum de 8° pour des rails en fer et de 15° pour des voies en bois, afin que le poids de la matière utile suffise comme force motrice. Elle atteint parfois le chiffre de 80°.

Lorsque le plan incliné est établi à la surface ou qu'on est maître de son inclinaison, on la fait diminuer de la partie supérieure à la partie inférieure pour compenser l'effet du poids du câble, qui commence par être une résistance quand le wagon plein est en haut, et devient une puissance quand il est en bas.

Les plans inclinés établis dans les mines doivent suivre la couche ou le filon exploité. Quand le plan incliné a une projection horizontale rectiligne, il a généralement une pente variable.

Le *câble* qui retient les wagonnets d'un plan incliné peut être un câble sans fin ou un câble à deux bouts.

Le câble sans fin passe sur deux poulies, dont l'une est installée à la tête du plan incliné et l'autre, à la partie inférieure, se déplace sous l'action d'un contrepoids, qui règle la tension du câble.

On emploie généralement un câble à deux bouts et une poulie unique placée à la tête du plan; cette poulie fixe est tangente aux deux axes des voies. On peut remplacer la poulie par un treuil de touage formé de deux cylindres à axes parallèles et faire passer le câble une fois de plus sur le cylindre supérieur que sur le cylindre inférieur. On peut aussi employer un treuil ordinaire autour duquel le câble décrit un certain nombre de tours. Dans un autre système, on emploie deux tambours montés sur le même axe et clavetés ensemble, et deux câbles fixés par leur extrémité sur ces tambours et portant respectivement, à leur autre extrémité, le wagon vide et le wagon plein, ou le wagon et le contrepoids.

Poulie. — Son plan est parallèle à celui du plan incliné. Son diamètre est égal à l'intervalle des axes des deux voies diminué de l'épaisseur du brin, de sorte que les brins se disposent suivant les axes des deux voies.

M. Villot, inspecteur général des mines[1], recommande de donner à la poulie un diamètre de 1 mètre quand le câble est formé de fils d'acier de 1 millimètre à $1^{mm},3$ de diamètre. La gorge est fouillée en demi-tore. On emploie aussi des poulies à gorge conique dans lesquelles le câble se coince d'autant plus que la traction est plus forte. La poulie Fowler est métallique et articulée : elle serre le câble par le fait seul de sa tension longitudinale. Ces poulies fatiguent plus le câble que celles à gorge demi-ronde.

Frein. — Il faut atténuer la rapidité du mouvement et détruire par un travail négatif le travail positif de la pesanteur; le frein, qui fournit ce travail négatif, doit pouvoir arrêter sûrement le mécanisme sur lequel passe le câble. Le frein le plus habituel est un simple sabot de bois posé sur la jante; il est fixé à un levier sur lequel le garde-frein agit de manière à l'appuyer contre la jante. Au lieu du sabot de bois, on peut aussi employer un frein à bande de tôle, dont l'action est beaucoup plus énergique. Ces freins sont lâchés au repos et serrés par une manœuvre du garde-frein. Il vaut beaucoup mieux, au point de vue de la sécurité, employer des freins à vis normalement serrés, et desserrés par le garde-frein seulement pendant la marche des wagons.

On a aussi employé, au lieu de freins, des régulateurs basés sur la résistance des fluides, air ou eau.

Pour remédier aux inconvénients du frottement du câble sur le sol du plan incliné, on fait passer le câble sur des rouleaux en bois ou en fonte, cylindriques ou tronconiques, bien graissés et mobiles autour de leur axe horizontal.

Dans le cas où le plan incliné fait un coude en projection horizontale, il faut avoir pour chaque câble un rouleau de renvoi. Sur un plan incliné à faible pente, les wagons reposent directement sur les rails et y forment même des petits trains. Sur les plans inclinés dont l'inclinaison dépasse 30°, on peut employer comme véhicules des bennes articulées à bascule dont la caisse reste verticale, quelle

1. *Annales des mines*, 1889.

que soit l'inclinaison de la voie. Mais il est plus simple et plus pratique d'adopter des *chariots porteurs*.

Un chariot porteur (fig. 55) est un truc constamment attelé aux câbles. Un plateau lui est assemblé sous un angle égal à l'inclinaison du plan et vient se mettre au niveau des chassages d'où débouchent les wagonnets, que l'on charge transversalement sur le truc, en en reliant la partie supérieure avec les chassages par des rails amovibles, placés dans ces chassages. Ces chariots porteurs sont à un ou plusieurs étages et peuvent recevoir de une à quatre berlines. La plate-forme du chariot porteur Taza-Villain est à charnière, pour pouvoir servir dans des plans d'inclinaison variable.

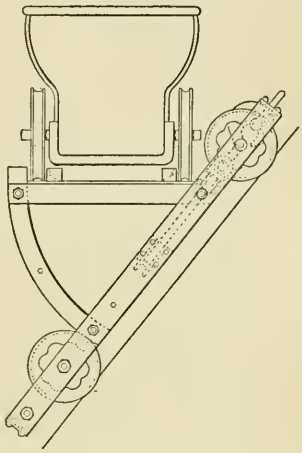


Fig. 55. — Chariot porteur.

En tête du plan incliné est un palier sur lequel un système d'aiguilles, ou plutôt une plaque d'embranchement, permet d'amener les wagons pleins sur le plan et d'en sortir les wagons vides. A un chassage intermédiaire, si le plan est peu incliné, on intercale une partie en palier ou, s'il est plus incliné, on rend les rails du plan amovibles au-dessus d'un palier au niveau du chassage; de la sorte, quand le chassage considéré n'est pas desservi par le plan, l'inclinaison du plan est constante. Si la pente du plan est assez forte pour qu'on emploie des chariots porteurs, le dessus du chariot est au niveau du chassage et communique avec lui comme il a été dit.

On peut, par un même plan incliné, desservir successivement plusieurs chassages différents, et cela sans difficultés, quand on emploie un câble sans fin; avec un câble à deux bouts passant sur une poulie, il faut raccourcir ou rallonger le câble de manière que, quand le wagon vide est à la recette inférieure, le wagon plein soit au chassage que l'on désire desservir; si l'on se sert de deux câbles

dont les extrémités sont attachées à deux treuils clavetés ensemble, on déclavette ces treuils et on fait tourner l'un d'eux de façon à enrouler ou dérouler une partie du câble. La recette inférieure du plan incliné est généralement établie en dehors de la voie de fond et reliée avec elle par un petit raccordement, de manière à permettre de circuler constamment sur la voie de fond.

On fait souvent traîner par le dernier wagon du train montant une fourche qui glisse à terre sans opposer de résistance, mais qui, en cas de rupture du câble montant, s'arc-boute et empêche le train de redescendre. Le train descendant est, dans ce cas, arrêté par le frein. Ce moyen est insuffisant en cas de rupture du câble du train descendant. Il vaut mieux recourir à l'arrête-convoi de M. Joniaux, qui consiste en un wagon muni d'ancres qui restent relevées par la tension du câble, mais qui sont rabattues par un poids dès que le câble casse.

L'arrêt de chariot Gerhard peut se placer tous les 40 mètres environ sur la voie montante d'un plan incliné à câble sans fin. Cet appareil reçoit et arrête les chariots qui, en cas de rupture du câble, descendent sur l'une et l'autre voie.

La circulation est généralement interdite aux hommes le long d'un plan incliné, à moins qu'il ne règne un passage latéral bordé par une balustrade. A la recette supérieure, le plan doit être constamment barré par une chaîne, afin d'éviter qu'un wagon ne puisse être précipité sur la voie par inadvertance.

La longueur des plans inclinés est limitée par la prudence. En France, elle est d'environ 50 mètres; en Belgique, de 100 mètres. Le grand plan automoteur de Sommorostro, en Espagne, construit par la maison Taza-Villain, a une longueur de 600 mètres; à sa partie supérieure la pente est de 35 0/0, à la partie moyenne de 30 0/0 et à la partie inférieure de 25 0/0. Il rachète une différence de niveau de 100 mètres. Il est en ligne droite et a deux voies parallèles; mais, en général, pour de grandes longueurs, on divise le plan incliné en plusieurs plans, qui ne sont pas dans le prolongement les uns des autres.

La vitesse de circulation sur les plans inclinés doit être modérée, dans la crainte d'accidents : en général, on se tient entre 2 et 4 mètres par seconde; mais, avec des régulateurs, on peut aller jusqu'à 5 mètres.

Le receveur, qui se trouve à la partie inférieure, donne au freineur, qui se trouve à la partie supérieure, le signal d'envoyer et d'arrêter, au moyen des organes suivants : la voix, un disque manœuvré par une corde, une cloche dont le battant est mû par une corde, une barre de métal sur laquelle il frappe, etc.

Plans bisautomoteurs. — Un plan bisautomoteur est un appareil dans lequel la descente du minerai est employée non seulement à vaincre les résistances passives et à remonter un wagon vide en haut du plan, mais encore à le remonter sur une relevée supplémentaire. La figure schématique 56 fera comprendre le fonctionnement des plans bisautomoteurs de la Grand'Combe. C est l'entrée de la mine, B une carrière de remblai, ABC une galerie inclinée conduisant dans la mine les wagonnets chargés de remblai. Les wagons sortant de la mine en D descendent la pente DE. Deux plans inclinés AE, EF sont établis au prolongement l'un de l'autre. Deux treuils sont disposés en A; leurs rayons sont dans le rapport $\frac{AE}{EF}$. Sur le premier treuil passe un câble portant à ses extrémités un certain nombre de wagons, quatre par exemple (ces wagons pleins descendent le long de EF), et autant de wagons vides remontant cette rampe. Sur

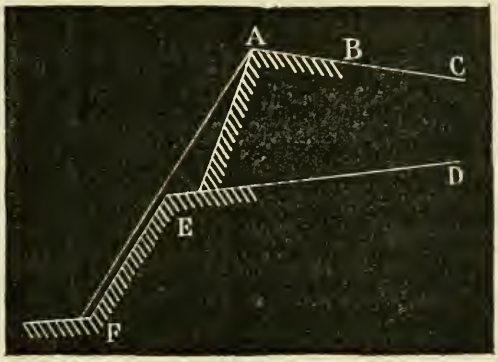


Fig. 56. — Plan bisautomoteur.

le second treuil passe un câble qui porte à ses extrémités un wagon vide qui descend le long de AE, et cinq wagons vides (un de plus que sur la pente EF) remontant la rampe AE. Le poids des quatre wagons pleins qui descendent EF remonte donc autant de wagons vides suivant FA. La hauteur EF doit être au moins égale à une certaine fraction de AE; on lui donne une valeur un peu supérieure, et on obtient un excédent de travail positif que l'on annule au moyen d'un frein.

Vallées. — Les vallées sont munies d'un moteur destiné à faire monter le minerai. Elles peuvent être à simple effet, si un contrepoids descend pendant la montée du wagon plein et remonte pendant la descente du wagon vide, ou à double effet, si le wagon vide descend pendant que le plein monte.

Le moteur peut être un homme attelé à un câble ou agissant sur un treuil, un cheval marchant en palier ou actionnant un manège, ou une machine hydraulique, à vapeur, à air comprimé ou électrique.

Quand on a une galerie d'écoulement au niveau inférieur de la vallée, on peut employer de la manière suivante le poids d'eau descendant le long de la vallée : pendant que le wagon plein de minerai monte la vallée, une caisse la descend pleine d'eau, et pendant que le wagon la descend à vide, la caisse à eau la monte également à vide ; on s'arrange de façon à avoir en tout cas un léger excès de travail positif, qu'on annule par un frein.

Si on emploie une machine à vapeur, que ce soit une locomotive tirant sur un palier, une locomobile ou une machine fixe, il faut que son foyer soit alimenté par de l'air exempt de grisou et que les produits de la combustion arrivent directement au puits de sortie, sans passer par des galeries fréquentées. Une machine à air comprimé a l'avantage de pouvoir accessoirement servir à la ventilation de la mine. L'usage des treuils électriques, analogues à ceux dont on se sert beaucoup sur les chemins de fer, par exemple pour faire tourner des plaques, est jusqu'ici peu répandu dans les mines.

Dans les vallées, l'enchaîneur placé au bas commande au

mécanicien, placé en haut, par des signaux analogues à ceux que nous avons cités à propos des plans inclinés.

TRACTION MÉCANIQUE

On désigne ainsi les modes de transport souterrain reposant sur l'emploi de machines fixes comprenant un générateur et un moteur, qui est en général une machine à vapeur à deux cylindres croisés. Nous distinguons trois cas, suivant leur emplacement.

La machine et le générateur peuvent être au fond; l'alimentation du foyer doit être faite au moyen d'air frais amené directement du dehors, si l'on craint la présence du grisou dans la mine. Dans une mine de matière combustible, toute chaudière souterraine doit être dans le rocher et éloignée de tout boisage; il faut avoir soin de créer une sortie directe pour la fumée et l'échappement de vapeur. Cette disposition permet d'utiliser comme combustible les vieux bois, au lieu de les remonter au jour.

Le moteur peut être au fond et les chaudières au jour, aux abords du puits. On les relie alors au moyen d'une conduite de vapeur qu'on a soin de feutrer pour diminuer la condensation par le refroidissement. La sortie de la vapeur se fait, comme dans le cas précédent, au moyen d'un conduit spécial.

Enfin la machine et les foyers peuvent être au jour, ce qui est le cas le plus fréquent [1]. Mais il faut faire parvenir alors au fond la force motrice engendrée au jour; on y arrive en général par des câbles qui ont l'inconvénient d'encombrer le puits. On peut aussi employer, comme moyens de transmission, les barres de renvoi, l'air comprimé, l'eau sous pression et l'électricité.

Câble double. — Dans le *système corde-tête et corde-queue (tail-rope system),* on emploie deux câbles; un train comprenant jusqu'à soixante wagons est attelé à un câble-tête qui vient s'en-

1. En 1880, il n'y avait dans les mines de houille de France que 18 machines à vapeur souterraines.

rouler près de la machine autour d'un treuil de tête ; au dernier wagon du train est accroché un câble-queue qui va à l'extrémité du réseau, passe sur une poulie de retour placée au point extrême et revient près de la machine passer sur le treuil de queue. En général, la machine est établie au niveau et dans le voisinage du fond du puits ; l'arbre de son volant est muni d'une roue dentée, qui peut engrener avec deux roues montées sur les deux treuils tête et queue. Ces deux treuils sont installés de manière que l'un des câbles s'enroule sur son treuil en tirant le train, pendant que l'autre

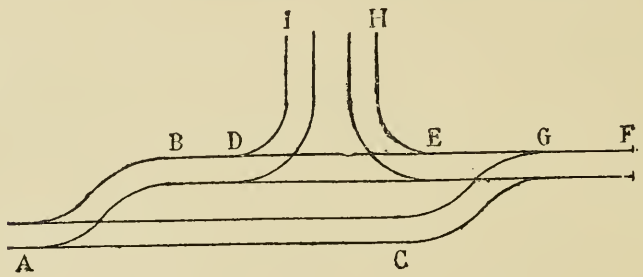


Fig. 57. — Traction mécanique, système corde-tête et corde-queue.

se déroule de son treuil. Le train est amené vers le puits en faisant engrener la roue de tête. A son passage devant la machine, le câble de tête est déclenché au moyen d'un heurtoir et le train descend jusqu'au puits sur la voie, grâce à son poids. On fait alors engrener la roue de queue ; le train est ramené auprès de la machine, on raccroche le câble de tête et on continue à tirer le câble de queue.

La tête de ligne est établie comme l'indique la figure 57, la voie ACG est en pente légère vers G; le train vide arrive en AC, on décroche ses deux câbles, qu'on accroche à un train plein attendant en BD; le train vide descend de lui-même se placer en FG ; ses wagons sont successivement conduits dans les tailles pour être chargés ; de là ils se placent en BD.

Le câble-tête est près du sol, sur des rouleaux à intervalles de

7 à 8 mètres; dans les courbes, des tambours verticaux suffisamment rapprochés lui servent de guide. Le câble-queue, au contraire, est placé au plafond; dans les courbes, il est guidé par des tambours verticaux très éloignés les uns des autres.

Ce système est très avantageux, il permet d'obtenir une vitesse moyenne à l'heure de 15 kilomètres sur n'importe quelles pentes et rampes, quelles que soient les courbes de la voie, pourvu cependant que le rayon soit de plus de 20 mètres: une seule voie est nécessaire, sauf en certains points.

Si les voies sont constamment en rampe des tailles au puits, le câble-queue est inutile; il en est de même du câble-tête si elles sont constamment en pente.

Câble unique. — Au lieu de deux câbles, on peut employer un seul câble sans fin, qui s'enroule sur deux poulies placées, l'une près de la machine, l'autre près de la tête de ligne sur un chariot tiré par un poids énorme, mobile dans un puits d'un mètre de profondeur.

Ce câble unique marche en moyenne à la vitesse de 3 kilomètres à l'heure. Les wagons sont isolés et répartis le long du câble, de 15 mètres en 15 mètres. Chacun d'eux est muni d'une chaînette terminée par un étau destiné à pincer le câble. Parfois le câble est remplacé par une chaîne qui repose sur des rouleaux ou sur les wagons eux-mêmes. La chaîne flottante entraîne les véhicules par frottement. On peut aussi entrer un crochet de chaque wagon dans un anneau de la chaîne.

Quand le système est à double effet, le câble se meut toujours dans le même sens; une double voie est nécessaire, les wagons pleins circulent sur une voie pendant que les vides circulent sur l'autre. Avec le système à simple effet, la voie est unique et le câble se meut dans les deux sens pour amener les wagons pleins et pour redescendre les vides; une moitié de câble ne conduit pas de wagons.

On peut donner comme résultats moyens de la traction mécanique les indications suivantes : transport en dix heures de tra-

vail, 500 tonnes; longueur du réseau, 2 kilomètres; nombre des chariots, 400; charge utile de chaque chariot, 350 kilogrammes.

RÉSULTATS OBTENUS

Terminons ce chapitre en donnant, d'après M. Badoureau[1], le prix de revient moyen de la tonne kilométrique suivant le mode usité.

	Enfant.	Homme.	Cheval.
Traînage	10	4	2,50
Brouettage	»	3	»
Roulage	1,50	0,70	0,30
Traction mécanique { deux câbles			0,12
Traction mécanique { un seul câble			0,09
Navigation souterraine			0,10

Ainsi qu'on pouvait le prévoir, les résultats les plus économiques nécessitent en général les plus grands frais de première installation : on doit donc employer les moyens qui les donnent dans les mines qui ont un grand avenir, mais seulement dans ce cas.

CHAPITRE VII

EXTRACTION

Après avoir fait connaître, dans le précédent chapitre, le transport des matières dans la mine suivant une trajectoire sensiblement

1. *Dictionnaire de l'industrie et des arts industriels*, par E.-O. Lami.

horizontale, nous allons considérer leur sortie par un puits sensiblement vertical.

Quel que soit l'appareil d'extraction, sur lequel nous reviendrons bientôt en détail, il est en général suspendu à un câble, organe essentiel de l'industrie minière.

CABLES

Le *câble rond* est constitué au moyen de plusieurs *torons*, dont chacun est formé par la réunion de plusieurs fils de *caret*. Les torons sont enroulés en hélice. Grâce à ce mode de misage ou de câblage, tous les brins travaillent également et les chocs sont amortis; mais, par contre, la résistance à la rupture est diminuée, et il se produit un tournoiement susceptible de donner le vertige aux hommes suspendus au câble. On enroule en hélice le câble rond sur l'arbre d'un treuil.

Le *câble plat* est formé d'un certain nombre de câbles ronds, appelés *aussières*, réunis ensemble de manière que les hélices soient alternativement *dextrorsum* et *sinistrorsum,* ce qui supprime la tendance au tournoiement; on enroule le câble plat régulièrement sur une bobine en forme de spirale d'Archimède.

Il convient d'augmenter progressivement la section des câbles vers le haut, afin d'éviter que leur poids ne produise une rupture à la partie supérieure; on a cherché à employer un câble d'égale résistance, dont la section serait en chaque point proportionnelle à la tension ; mais il a fallu pratiquement se contenter d'une solution approchée, qui consiste à former le câble d'un certain nombre de mises rondes de plus en plus étroites de haut en bas, par la suppression progressive des torons ou des fils de caret.

On fait les câbles en chanvre, en aloès ou en métal.

Câbles végétaux. — Les câbles en chanvre, dont l'usage remonte à la plus haute antiquité, ne conviennent que dans les puits secs, à moins d'être goudronnés ; leur poids spécifique varie suivant le serrage (1050 à 1100 kilogrammes par mètre cube), ils

ne doivent pas supporter une charge de plus de $0^{kg},8$ par millimètre carré de section. Le goudronnage des câbles, qui en augmente la durée, peut se faire en fil ou en corde après câblage. Ils peuvent absorber 17 0/0 de leur poids de goudron, mais il faut rester en deçà de ce chiffre.

L'aloès employé est l'agave d'Amérique ou chanvre de Manille; l'humidité lui est très favorable, le froid le rend cassant. Les câbles faits en filaments d'aloès sont plus légers (poids spécifique, 1000 kilogrammes par mètre cube) et plus résistants que ceux en chanvre. Ils peuvent supporter par millimètre carré, sans se rompre, une charge de 6 kilogrammes; mais, dans la pratique, on ne dépasse guère $0^{kg},8$.

La durée de ces câbles végétaux est très variable. Elle n'est que de quatre à cinq mois, quand l'air est mauvais; au contraire, elle peut, quand l'air est très bon, atteindre deux à trois ans pour les câbles ronds et quatre à cinq ans pour les câbles plats. Les extrémités du câble travaillant très inégalement, on le retourne bout à bout au milieu de son temps de service, ce qui en augmente la durée : les câbles sont généralement doubles dans un puits d'extraction; celui qui s'enroule sous la bobine se fatigue sensiblement plus que l'autre, à cause de la plus grande torsion : aussi les change-t-on entre eux au milieu de leur durée, afin de rendre celle-ci plus grande.

Câbles métalliques. — La substitution de fils de fer aux brins végétaux, dans la constitution des câbles de mines, date d'un demi-siècle. Les câbles en fils de fer fournissent une plus grande durée, à condition que le puits ne contienne pas d'eaux acides, qui rongent très rapidement le fer; ils peuvent supporter avec une petite section une charge considérable; quand ils sont hors d'usage pour le service de l'extraction, ils ont encore la valeur du vieux fer. Par contre, les vibrations auxquelles les câbles en fils de fer sont soumis amènent une cristallisation du métal, cause de rupture. On a soin de vérifier chaque jour, en faisant passer une réglette devant le câble, s'il n'y a pas de fil cassé.

La charge de rupture des fils de fer de bonne qualité est de 50 kilogrammes par millimètre carré pour les gros fils, et de 90 pour les fils fins, mais on ne les fait jamais travailler qu'au sixième de cette charge. Les câbles en fils de fer doivent être assez fréquemment lavés et graissés; on leur donne souvent une âme en chanvre.

On a substitué l'acier au fer, ce qui a permis d'obtenir une plus grande résistance à la rupture (plus de 100 kilogrammes par millimètre carré); mais l'acier est susceptible de cristallisation; de plus, il nécessite un grand diamètre d'enroulement. Le métal désirable devrait être très résistant, souple et inoxydable; des tentatives assez heureuses ont été faites en employant le bronze phosphoreux. Un alliage récent, le métal Delta, qui est à la fois homogène, inoxydable, très résistant et élastique, semble pouvoir satisfaire aux conditions que devrait remplir un bon câble d'extraction.

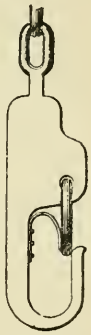


Fig. 58. Crochet de sûreté.

A la place de câbles, on a fait usage, notamment en Angleterre, de chaînes; cette substitution n'a pas été heureuse, car les chaînes sont lourdes et encombrantes; à poids égal, elles sont moins résistantes; de plus, ces chaînes en fer deviennent rapidement cassantes et il faut recuire de temps en temps le métal; leur soudure doit être très soigneusement faite et il faut, malgré ces précautions, consolider les maillons.

Les câbles sont toujours terminés par des bouts de chaînes, qui supportent l'appareil d'extraction. Si le câble est rond, on enroule deux fois son extrémité autour d'un boulon passé dans une fourche et on la fait remonter parallèlement au câble, auquel on la fixe solidement. Pour un câble plat, on fait passer son extrémité dans un anneau en fer de premier choix renforcé préalablement par des morceaux de vieux câble, et on la fixe au câble montant par deux armatures en fer serrées à l'aide de boulons.

Quand le câble supporte des véhicules, qu'il faut à chaque

manœuvre attacher ou détacher, on emploie des crochets de sûreté (fig. 58) empêchant un déclenchement inopiné.

APPAREIL D'EXTRACTION

Bennes. — Dans le puits d'extraction se trouvent disposés deux câbles; par l'un deux montent les véhicules chargés et par l'autre descendent les véhicules vides, de manière que les poids morts s'équilibrent. Ces récipients, *bennes* ou *cuffats*, reçoivent le contenu des wagonnets faisant le transport intérieur de la mine. Le point de départ des bennes constitue la recette intérieure, l'accrochage ou l'envoyage.

La *benne* est un tonneau assez allongé, renflé au centre et garni de frettes ; sous le plancher qui constitue le fond sont disposés des croisillons en bois ou en fer qui consolident le récipient; elle est souvent recouverte d'un disque en forte tôle, appelé parapluie, qui protège les ouvriers contenus dans la benne contre l'eau et surtout contre les objets divers qui peuvent tomber dans le puits. Des crochets, trois ou quatre, fixés à la partie supérieure servent à suspendre la benne aux chaînes d'attelage du câble. Le cuffat présente dans certains cas la forme d'un prisme en tôle très allongé que l'on peut guider. Le contenu des bennes est très variable: 6 à 30 hectolitres; leur poids vide est de 150 à 500 kilogrammes.

La vitesse de ces véhicules est très faible : $0^m,50$ à $1^m,50$ par seconde, afin d'éviter les chocs contre les parois et le renversement des bennes. Pour éviter les heurts entre les deux bennes, on ralentit encore leur vitesse lors de leur rencontre. De plus, en ce point on élargit le puits.

Cages. — Ces bennes tendent aujourd'hui à disparaître et à être remplacées par des cages guidées, dans lesquelles les wagonnets de transport sont remontés au jour.

Les guides des cages constituent une sorte de chemin de fer

vertical. Les cages guidées ont été employées pour la première fois, il y a près de soixante ans, pour remplacer les bennes dont la

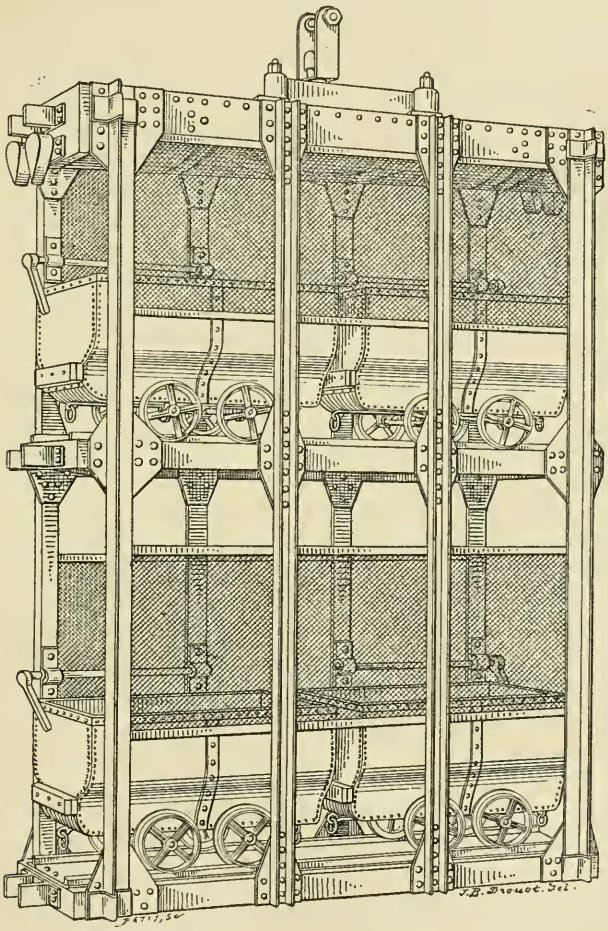


Fig. 59. — Cage pour l'extraction de la houille à Anzin.

vitesse était trop faible; il en est résulté une augmentation considérable de la puissance d'extraction et de la sécurité. Mais il faut

alors remonter, en outre des matières que l'on se propose d'extraire du puits, le poids considérable du récipient.

Les cages ont la forme d'un parallèlipipède rectangle; autrefois construites en bois, elles sont fabriquées aujourd'hui avec des fers à T ou en U. On les construit même depuis quelques années en acier, afin de les rendre à la fois légères et résistantes. Elles peuvent être à un ou deux étages comprenant des voies sur lesquelles on glisse les berlines; quelquefois même, elles sont à quatre étages; chaque étage peut comprendre un, deux ou quatre wagons. En général, on les surmonte d'un toit protégeant contre la pluie, la chute des corps solides et notamment celle du câble, en cas de rupture de celui-ci. Elles sont garnies, sur les faces latérales, de grillages, qui sont surtout utiles au point de vue de la descente du personnel.

Les cages sont dirigées par des guides, sur lesquels nous reviendrons bientôt; elles sont munies sur leurs petits côtés de mains métalliques qui prennent les guides en laissant un faible jeu.

Les berlines se déplacent dans la cage pendant l'ascension; pour les empêcher de sortir de la cage, on munit celle-ci d'une chaînette ou mieux d'une manette de retenue coudée, que l'on relève pour introduire le véhicule et qui, rabaissée, empêche sa sortie; on emploie aussi des taquets qui s'effacent lors de l'introduction et qui s'opposent à un retour inopiné en arrière.

La figure 59 représente une cage à quatre berlines pour l'extraction de la houille, à Anzin, construite par la maison Taza-Villain.

Le poids des cages est très variable : en général, 400 à 3000 kilogrammes : grâce à l'emploi de l'acier on arrive à les rendre moins lourdes; chacun des wagonnets pèse, vide, de 100 à 300 kilogrammes et peut contenir un poids de matières variant de 300 à 1000 kilogrammes. Le poids de l'enlevage complètement chargé dépasse parfois sept tonnes; le poids mort ne dépasse pas sensiblement le poids utile, même dans le cas du fer.

Guidonnage. — Le guidage ou guidonnage peut être en bois ou en fer, ou fait au moyen de câbles.

Les guides en charpente sont constitués par des longuerines bien verticales, fixées à des moises horizontales par des boulons d'assemblage dont les têtes sont noyées dans le bois ; ils permettent un bon fonctionnement des parachutes.

Les guides en fer, malheureusement très sensibles à l'action des eaux acides, sont de vieux rails, ou des fers à T et en U : les galets des mains de fer qui les embrassent doivent alors être en bronze, et les parachutes doivent être disposés *ad hoc*.

On peut aussi employer pour le guidage des câbles métalliques placés aux coins du puits et raidis suivant la verticale au moyen de poids de plusieurs tonnes ou par des pressions hydrostatiques. Ils ne sont pas encombrants, mais exigent des dispositions spéciales pour les parachutes.

Lorsque l'on ne peut pas disposer les recettes dans un même plan vertical, on a recours à un guidage métallique hélicoïdal.

Accrochages. — Le guidage se trouve généralement interrompu aux recettes. On a alors soin d'évaser les extrémités de la main de fer, afin qu'elle saisisse bien le guide à la montée ou à la descente. Parfois on remplace les guides là où ils sont interrompus, par de faux guides mobiles autour d'un axe horizontal ou placés sur une porte.

Différents systèmes de portes employés pour fermer les voies donnant accès au puits ont été décrits dans la note de M. Maurice Bellom. (*Annales des mines 1890.*) Celles de Schüller et celles de Reden s'ouvrent quand la cage arrive à la recette et se ferment quand elle la quitte, sans cependant être en connexion directe avec la cage, ce qui donnerait lieu à des chocs trop violents.

Les recettes inférieures, dans les mines de Blanzy, sont munies d'un filet de sûreté, pour empêcher les chariots ou les hommes de pouvoir tomber dans le puisard. Ce filet pèse 150 kilogrammes. On le déplace facilement quand la cage doit dépasser l'accrochage[1].

Au puits Krug n° 1, de la mine von der Heydt, on a établi, à

1. M. Lebreton, *Annales des mines*, 1889.

une recette au-dessous de laquelle le puits ne sert que pour l'aérage, un semblable filet en dessous d'un grillage en fer muni de ressorts fortement bandés qui entrent en jeu quand la cage vient à frapper trop violemment contre eux.

Parachutes. — Si le câble vient à se rompre, la cage, qui cesse d'être suspendue, se précipite au fond du puits en produisant les plus graves accidents, surtout si elle contient des hommes; dans tous les cas, la cage se brise et détruit ou fausse les guides. L'emploi de *parachutes*, c'est-à-dire d'appareils arrêtant la cage près du point où s'est rompu le câble, s'imposait donc d'une façon absolue, au moins quand la cage contient des hommes, bien que ces engins augmentassent un peu le poids mort. Cependant leur emploi ne remonte guère à plus d'un demi-siècle.

Souvent on interpose, entre le câble et la cage, un système élastique qui est comprimé à fond de course par un poids légèrement moindre que celui de la cage vide et qui, par suite, se trouve sans effet lorsque la cage suspendue au câble se meut avec une vitesse à peu près constante; ce dispositif élastique se détend au contraire en cas de rupture du câble; le parachute enfonce alors dans les guides des ciseaux tranchants, ou bien il appuie sur eux des galets excentriques.

Les ressorts dont sont munis ces parachutes sont des ressorts métalliques, en acier généralement, ou des ressorts à air.

Les parachutes à griffes sont les plus répandus; les griffes pénètrent en s'écartant dans les guides en bois et y tiennent la cage suspendue; ce système a l'inconvénient de refouler le guidonnage; dans une autre variante, les guides se trouvent serrés par des mâchoires comme par des tenailles. Quand les guidonnages sont en fer, on emploie des parachutes à galets, qui agissent par le frottement des galets contre les guides, dont on a eu le soin de strier la surface.

Tous ces parachutes présentent des inconvénients qu'il est nécessaire de signaler. Si la cage éprouve simplement une accélération trop grande, le parachute fonctionne d'une façon anormale,

la cage s'arrête brusquement et le câble peut par suite être brisé.

Au contraire, en cas de rupture du câble, celui-ci en frottant contre le puits peut conserver une tension suffisante pour que le parachute ne fonctionne pas. Le plus grave reproche est peut-être basé sur l'efficacité même du parachute, car la confiance qu'il procure endort la vigilance dans la surveillance des câbles; mais il suffit d'une bonne discipline pour remédier à cet inconvénient.

Le *Parachute Fontaine* (fig. 60) est un appareil à griffes; celles-ci viennent pénétrer dans la face antérieure des guides, sous l'action de ressorts à boudin, en temps normal comprimés par la tension du câble, mais se détendant en cas de rupture.

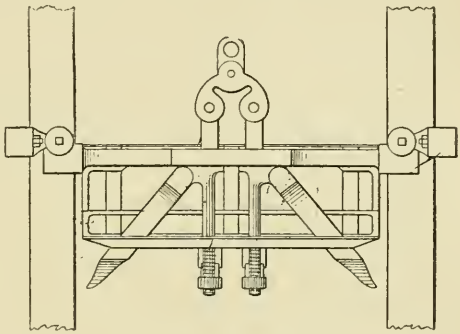


Fig. 60. — Parachute Fontaine.

Le parachute *Friemann et Wolf* assure un serrage assez lent pour que l'arrêt de la cage se produise sans choc.

Quand on substitue des chaînes aux câbles, on ne peut employer que le parachute de *Cornouailles*. La chaîne montante passe, en les soulevant légèrement, au travers de trappes qui sont baissées sur l'orifice du puits; en cas de rupture, la chaîne commence à descendre, mais elle est pincée entre les lèvres des trappes qui se referment. Ce parachute n'agit pas sur la cage descendante.

Quand on a des guidonnages en câble, le parachute employé est le parachute d'équilibre. Une main de fer reliée au câble porteur suit un câble parallèle et reste ouverte sans le serrer; mais en cas de rupture du câble porteur, un déclenchement produit le serrage; la main pince le câble qu'elle entraîne en soulevant de terre un fort contrepoids, ce qui amortit la force vive du système.

Les bennes ou cuffats et les cages partent des recettes, qui sont

disposées de diverses manières, suivant que l'on emploie l'un ou l'autre de ces véhicules d'extraction.

Pour les premiers, on ménage sur la paroi du puits un pas de cuffat, sur lequel le cuffat, saisi par des gaffes armées de crochets, est amené pour être chargé.

Clichage. — Quand on fait usage des cages, ce qui est le cas le plus fréquent, il faut faire coïncider rigoureusement les rails de la cage avec ceux des voies de la recette; à cet effet, on pose les cages sur un *clichage*, comprenant un système de taquets ou de verrous qui permettent de placer le sol de la cage exactement au niveau de la recette, de manière à pouvoir pousser les wagons qui se trouvent sur la voie ferrée de la mine sur les rails de la cage.

Les verrous, qui ne sont susceptibles que d'un mouvement horizontal, présentent un grand danger, car si, par négligence des receveurs, ils sont fermés à tort, la cage, en arrivant inopinément, si elle ne les cisaille pas, s'arrête brusquement, et il y a de grandes chances pour qu'il en résulte la rupture du câble. Les taquets mobiles autour d'un axe horizontal sont préférables. Généralement, ils sont maintenus ouverts par un contrepoids et ne peuvent être fermés que si on les soutient à la main ou si la cage repose sur eux.

M. Reumaux a installé, aux mines de Lens, un système de taquets hydrauliques, qui remet entièrement entre les mains des ouvriers de la recette les manœuvres à exécuter et les rend indépendantes du mécanicien.

Il est bon que les taquets puissent être effacés sans qu'on soit forcé pour cela de soulever la cage, et qu'ils reprennent spontanément leur position après le départ de la cage. Il est également recommandable d'amortir, par exemple par des ressorts spiraux, les chocs de la cage contre les taquets.

La cage, enlevée par le câble, arrive à l'orifice du puits, qui généralement est fermé au moyen de balustrades automatiques. Celles-ci se trouvent soulevées par la cage ascendante et replacées par la cage quand elle redescend. Dans les puits munis de ventilateurs, on met, au lieu de balustrades, un couvercle que la cage

soulève en montant et replace en descendant. Au-dessus du puits, le câble passe sur d'énormes poulies, appelées molettes, installées à la partie supérieure d'un chevalement.

Chevalement. — Ce chevalement, appelé quelquefois *belle fleur*, présente toujours une grande hauteur qui doit comprendre : toute celle de la cage ; un espace de sécurité, destiné à empêcher la rencontre des molettes par la cage ; enfin le rayon de la molette. La hauteur du chevalement descend rarement au-dessous de 10 à 15 mètres, elle peut atteindre près de 40 mètres. Les chevalements se construisent en bois, en maçonnerie ou en fer. Les chevalements en bois sont des charpentes très solides en forme de tronc de pyramide quadrangulaire reposant sur des dés en pierre, pour garantir leur pied de l'humidité ; on peut les faire en sapin, mais il faut alors les renouveler tous les trois ans environ ; ils ont l'inconvénient d'être sujets à l'incendie, ce qui doit les faire rejeter dans les puits susceptibles de dégager du grisou. On fait aussi des chevalements en maçonnerie, qui ont le défaut d'être encombrants et surtout coûteux ; mais, actuellement, le fer domine dans la construction des chevalements. L'emploi de ce métal leur donne de la légèreté sans nuire à leur stabilité, la simplification est poussée à la dernière limite dans le chevalement-grue, dont la forme est celle d'une ellipse très allongée, formée de deux flasques entretoisées. Le principal arc-boutant d'un chevalet doit toujours être établi suivant la résultante des deux forces qui agissent sur la molette par les deux brins du câble.

Parmi les plus remarquables chevalets métalliques construits dans ces dernières années, nous citerons celui exécuté pour la fosse Lagrange, à Anzin, par la maison Taza-Villain, du poids relativement peu élevé de 50 tonnes, malgré sa hauteur.

Les chevalets doivent être recouverts, afin de protéger contre l'humidité les organes qu'ils comprennent.

Molettes. — Les *molettes* sont les énormes poulies sur lesquelles passe le câble à sa sortie du puits ; leur diamètre varie de 4 à 6 mètres. Pour les câbles ronds on emploie des gorges rondes ;

la gorge est plate pour un câble plat; on lui donne une largeur supérieure de 2 centimètres à celle du câble en mettant des joues de 10 à 12 centimètres.

Le corps de la molette est en fonte, l'âme en fer forgé, la gorge est revêtue de bois ou de morceaux de vieux câbles; les rayons sont en double cône.

Une inadvertance du mécanicien d'extraction peut permettre à la cage, au lieu de s'arrêter à l'orifice du puits, d'être envoyée contre les molettes. Semblable accident, survenu le 20 janvier 1890 aux mines de Drocourt (Pas-de-Calais), a tué 5 ouvriers contenus dans la cage et en a blessé 15 autres. Pour remédier à ce terrible danger, on a créé des évite-molettes basés sur plusieurs principes.

Évite-molettes. — On s'est d'abord borné à rétrécir le guidonnage vers le haut, de manière à y coincer la cage en amenant la rupture du câble.

Il a paru préférable de rendre l'arrêt moins brusque en disposant un tampon d'arrêt élastique.

Le meilleur principe consiste à placer au-dessous du point que la cage ne doit pas dépasser un taquet qui, à l'aide de tringles de renvoi, agit de diverses façons sur les organes de la machine pour arrêter la cage.

Un autre procédé a pour principe de relier la cage au câble par une broche munie d'une queue, et mobile autour de son centre de courbure, et d'établir un butoir au point que l'on ne doit pas dépasser. Quand la queue de la broche vient choquer le butoir, la cage se sépare du câble et il vient sous elle des taquets pour la recevoir.

A l'Exposition universelle de Paris, en 1889, figurait, dans l'intéressante exposition des mines de Lens, un évite-molettes à enclenchements de sûreté d'un bon fonctionnement, dû à M. Reumaux.

Après son passage sur la molette, le câble s'enroule sur une bobine s'il est plat, sur un tambour s'il est rond.

Bobines. — Un câble plat s'enroule en spirale d'Archimède

autour d'une bobine munie de deux jantes ayant chacune leurs rayons. L'arbre ou *estomac* a un rayon d'environ 40 centimètres; il est en fer ou en fonte. On fixe solidement sur lui l'extrémité du câble, et en enroule d'une façon permanente une certaine portion de câble appelée *fourrure*. La fourrure a un rayon de 1 à 3 mètres et fournit à l'occasion les rallonges nécessaires. Dans ce cas, pour des raisons indiquées plus loin, le rayon de la fourrure doit être constant; si l'on doit, par exemple, emprunter à la fourrure deux spires, on en déroule deux autres, et, avant de les enrouler de nouveau, on les double par un morceau de vieux câble.

Tambours. — Quand on emploie un câble rond, l'enroulement se fait en hélice sur un *tambour,* treuil ordinaire d'environ 40 centimètres de diamètre; le bras de levier est constant. On a essayé des treuils cylindriques courts, sur lesquels le câble s'enroule en plusieurs couches, afin que le bras de levier varie d'une façon discontinue, et des tambours coniques, sur lesquels le bras de levier varie d'une façon continue.

La machine d'extraction met en mouvement les bobines ou les tambours qui font marcher le câble de suspension; ainsi que nous l'avons dit, il y a généralement deux câbles dans un puits; chacun d'eux a sa bobine ou son tambour. Si l'un des câbles, après son passage sur la molette, s'enroule par-dessus la bobine, l'autre s'enroule par dessous; de cette façon, la rotation dans le même sens des bobines produit l'ascension d'une cage et la descente de l'autre.

Les véhicules d'extraction sont reçus au jour de manières différentes suivant leur nature. Les bennes sont amenées à un niveau assez élevé pour pouvoir les accrocher par le fond; le mécanicien redescend alors la benne, qui chavire et se vide. On fait aussi usage de bennes à roulette munies d'oreilles, qui sont prises par des crochets fixés à des montants verticaux parallèles. On dispose un chapelet de bennes les unes au-dessus des autres et on les enlève au-dessus du puits, dont les moulineurs ferment l'orifice au moyen d'un pont volant; le mécanicien fait alors redescendre le système

et pose successivement sur le pont les bennes, que les moulineurs tirent vivement à eux.

Les cages, en arrivant au jour, sont posées sur un clichage analogue à celui de la recette du fond et les wagons tirés sur une voie ferrée située au même niveau; un marqueur note les wagons reçus sur un tableau noir ou au moyen d'un marquoir portant des crochets, auxquels on fixe des fiches métalliques avec des numéros ou des origines; les wagons passent sur une bascule, où ils sont pesés et vont aux *culbuteurs*.

Culbuteurs. — Le culbuteur le plus employé consiste en une paire de roues parallèles entre lesquelles sont deux rails supportant le wagon et qui sont munies de crochets destinés à le retenir à la partie supérieure. Le culbuteur avec un wagon plein a son centre de gravité au-dessus de l'axe de rotation et se trouve par suite dans une situation instable : le wagon, renversé sens dessus dessous, se vide et est lui-même retenu par les crochets dont nous avons parlé; le centre de gravité se retrouve au-dessus de l'axe de rotation, l'appareil culbute de nouveau et revient à sa situation normale; le wagon vide est retiré et ramené au puits.

On emploie aussi le verseur roulant Marsault; ou bien, au lieu de culbuter le wagon en avant, on le fait basculer latéralement à la main (wagon basculeur de Blanzy).

Tous ces appareils déversent le minerai sur de grands plans inclinés formant glissières, qui le conduisent dans les wagons destinés à son transport. Lorsque le minerai est dense, on ferme ces glissières à la partie inférieure par de lourdes plaques de tôle, qu'on laisse pendre verticalement autour de charnières horizontales, disposées le long de leur côté supérieur. Le minerai, en tombant, entr'ouvre ces plaques et se déverse plus doucement dans les wagons.

Souvent, on embarque le minerai dans des bateaux qui doivent l'emporter, et qui stationnent le long des rivages.

Rivages. — Les *rivages* peuvent présenter les deux dispositions suivantes :

1° Les matières glissent du wagon dans le bateau par des couloirs convenablement établis. A cet effet, les wagons sont formés de caisses reposant par une charnière sur le châssis et fermées d'un côté par une porte à articulation libre. En les soulevant par un angle supérieur, le minerai se déverse par l'angle inférieur opposé, et s'écoule par des bouches d'embarquement fixées dans

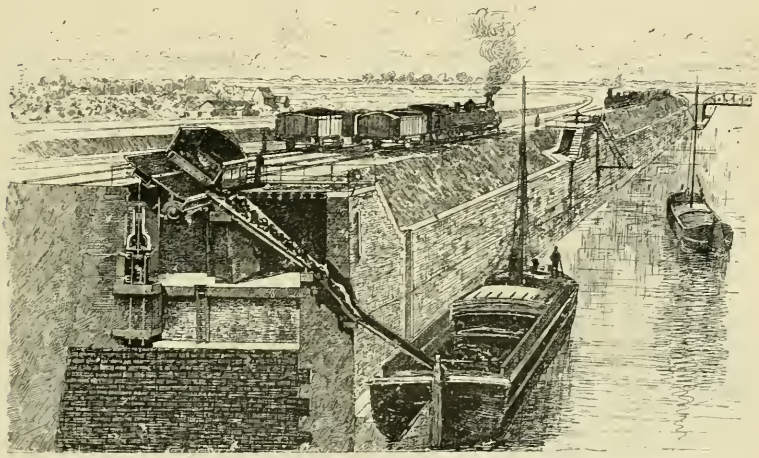


Fig. 61. — Embarquement mécanique des charbons aux mines de Marles.

les glissières à charnières, desquelles il tombe dans d'autres glissières à charnières, qui le conduisent dans le bateau. Ces dernières glissières, plus étroites que les bouches d'embarquement, peuvent recevoir une inclinaison variable de manière à faire tomber doucement le minerai. Ce système est employé pour le fer magnétique à Marquette, sur le lac Supérieur. Les estacades de Marquette présentent une longueur de 373 mètres, dont 200 sont accessibles aux navires; leur hauteur est de 12 mètres au-dessus du plan d'eau; 136 poches à minerai sont disposées le long de leur développement. On peut charger 8 bateaux à la fois et 6000 tonnes par jour.

Ce système est appliqué souvent pour le charbon, Les manœuvres des wagons sont faites par la vapeur (rivage de Lens), ou par

la pression hydraulique d'un cylindre en contre-bas (rivage de Bruay).

A l'Exposition universelle de Paris figurait un dessin, reproduit ci-dessus, qui représentait l'embarquement mécanique des charbons aux mines de Marles d'après un système très ingénieux. Ce basculeur de wagons de 10 tonnes à pendule différentiel

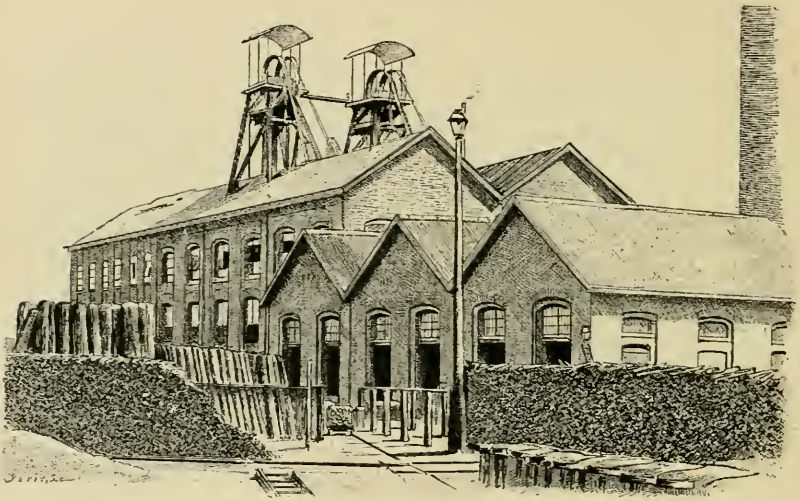


Fig. 62. — Fosse n° 7 de Lens.

et à frein hydraulique est dû à M. Malissard, de la maison Taza-Villain.

Dans le bassin de Newcastle on emploie des appareils plus simples appelés *sponts*. Divers couloirs sont étagés l'un au-dessus de l'autre pour tenir compte des variations de marée ; un avant-bec mobile peut s'adapter à l'un ou l'autre, au moyen de chaînes que l'on manœuvre des bords du quai ; des voies ferrées conduisent à ces couloirs, les wagons s'y déchargent par le fond qui s'ouvre en deux au moment où l'on déclenche une clavette. Les cinq sponts de Huelva (Compagnie de Rio-Tinto) permettent de

charger 1000 tonnes dans une matinée. Ils sont disposés le long d'une estacade de 579 mètres, établie à près de 10 mètres au-dessus des marées ordinaires et comprenant diverses voies, sur lesquelles les wagons vides ou pleins circulent par la simple gravité (fig. 122).

2° Dans un autre mode de chargement qui s'applique aux matières friables, on fait descendre le wagonnet lui-même avec la charge à un niveau inférieur, afin de réduire les inconvénients d'un brusque déversement. Les wagons arrivent sur une plate-forme suspendue à l'extrémité d'un grand bras de levier auquel est appliquée une chaîne qui, après avoir passé sur une roue, porte un contrepoids. Celui-ci fait équilibre au wagon à moitié plein : par suite, le wagon descend de lui-même; après avoir été vidé, il remonte également de lui-même; on a soin d'appliquer un frein sur la roue. Divers appareils reposent sur ce principe.

La figure 62, prise à la fosse n° 7 de Lens, représente le chevalement, le bâtiment de la recette, le bâtiment et la cheminée des chaudières, et les provisions de bois variés.

MOTEUR D'EXTRACTION

On peut employer, pour l'extraction, les divers moteurs que la nature ou l'industrie mettent à notre disposition, mais la plupart des machines d'extraction sont des machines à vapeur, dont nous commencerons par nous occuper [1].

1. Le danger des chaudières établies près des puits de mine, pour faire marcher les machines d'extraction, les machines d'épuisement, les ventilateurs, etc., se mesure par le produit de leur volume en mètres cubes par l'excès sur 100° de la température de leur vapeur. Il est souvent considérable, et par conséquent on devrait, d'après le décret du 29 juin 1886, les partager en groupes ayant chacun un coefficient de danger inférieur à 1800, et munis chacun d'un « clapet automatique d'arrêt disposé de façon à éviter, en cas d'explosion, le déversement de la vapeur des séries restées intactes ». En pratique, ces générateurs sont souvent dispensés de cette mesure de précaution, parce qu'ils sont établis dans des locaux isolés, éloignés de toute agglomération humaine, et parce que leurs chambres de chauffe sont disposées de façon à permettre aux chauffeurs de s'échapper facilement en cas d'accident.

Moteur à vapeur. — Autrefois, on employait des machines à un seul cylindre, mais elles ont presque entièrement disparu ; car, avec un seul cylindre, pour démarrer du point mort il fallait agir à bras ou avec des leviers sur les rayons du volant; aujourd'hui, on emploie presque toujours des machines à deux cylindres, dont les manivelles sont perpendiculaires l'une sur l'autre; de la sorte, si l'une d'elles s'arrête au point mort, l'autre est précisément à son maximum d'effet.

Il faut avoir un frein à vapeur assez puissant pour arrêter à peu près instantanément la machine, même si l'admission est ouverte en grand.

Nous ne pouvons pas décrire en détail, sans sortir du cadre de cet ouvrage, les différents types usités de machines d'extraction; nous nous bornerons à citer la belle machine de 1200 chevaux à 2 cylindres horizontaux conjugués, de $1^{m},05$ de diamètre et de $1^{m},60$ de longueur, exposée en 1889 par la Société anonyme de Marcinelle et Couillet, et à indiquer les quelques observations suivantes. La machine d'extraction doit être très simple, afin de diminuer les chances d'arrêt. On préfère généralement une machine à haute pression sans condensation : on a ainsi l'avantage d'avoir à sa disposition un frein à vapeur énergique, et on évite l'embarras d'un condenseur encombrant. Le moteur doit être à détente variable pour donner économiquement le travail moteur dont on a besoin à chaque instant; au commencement de l'ascension, il faut marcher à pleine pression pour créer de la vitesse; il en est de même à la fin, le mécanicien ayant besoin, pendant les manœuvres, d'avoir sa machine bien en main; au contraire, il faut une longue détente pendant l'ascension; un mécanisme de changement de marche très simple, consistant dans la coulisse de Stephenson ou un de ses dérivés [1], permet au mécanicien de graduer la détente, mais en nécessitant une manœuvre qui devient trop fatigante avec les grandes machines d'extraction.

1. Citons également le procédé Tripier, breveté en 1884, et consistant dans l'emploi d'un excentrique sphérique.

Le procédé Audemar (fig. 63) demande une intervention du mécanicien, mais sans lui imposer de fatigue; il consiste à interrompre l'admission dans la boîte du tiroir au moyen d'une soupape mue par un levier actionné par une came Meyer.

Le procédé Scohy consiste en une distribution dont l'admission et l'échappement sont réglés par des organes distincts.

M. Guinotte emploie un tiroir ordinaire, surmonté d'un second tiroir destiné à boucher les ouvertures d'admission de vapeur qui traversent le premier. On fait varier la course de ce second tiroir par des artifices assez compliqués, qui permettent de donner à la machine d'extraction juste la force voulue à chaque instant.

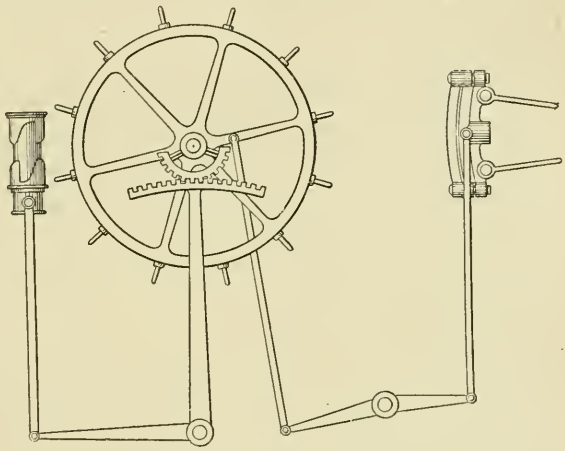


Fig. 63. — Détente Audemar.

Le mécanicien chargé de l'extraction a une grande responsabilité : il a entre ses mains la vie des hommes contenus dans la cage; de plus, une fausse manœuvre de sa part peut détruire le matériel et produire un arrêt dans l'extraction; il faut donc confier ce poste à un homme sûr, lui rendre facile l'exécution de cette tâche et lui imposer de fortes pénalités en cas de négligence.

Le mécanicien doit se placer entre les cylindres de la machine, de façon à bien surveiller le fonctionnement de ses organes, tout en se rendant bien compte de ce qui se passe à la recette supérieure.

Une distance de 25 à 30 mètres entre le mécanicien et la

recette est bonne pour cette surveillance, mais il est à craindre que le mécanicien, en voyant la cage aller aux molettes, n'abandonne son poste, de peur d'être atteint par le câble; il vaut peut-être donc mieux l'éloigner un peu plus de la recette. Il doit avoir en main les leviers du changement de marche et du régulateur (valve d'admission), et à sa portée celui qui commande le frein à vapeur.

Celui-ci consiste en général en une bande de tôle appuyée contre la jante du volant par des bielles de renvoi reliées à la tige du piston. Il est bon que le frein soit serré d'une façon permanente pendant les intervalles de repos : cela évite les mises en marche inopinées.

Les signaux dans les puits sont analogues à ceux qui se font dans les vallées et ont une importance considérable.

L'accrocheur, qui se trouve à chaque accrochage, fait des signaux différents au mécanicien pour monter, descendre ou arrêter, monter ou descendre de la hauteur d'un étage de la cage, quand elle en a plusieurs, et pour manœuvrer doucement, quand la cage contient des hommes.

Les signaux sont généralement donnés avec une cloche située à la partie supérieure, manœuvrée par une corde qui passe devant tous les accrochages.

Il est recommandé d'avoir, pour chaque accrochage, une cloche d'un timbre différent. Il serait bon d'avoir des signaux pour avertir du jour à chaque accrochage quand une cage va partir de cet accrochage, y arriver, ou passer devant sans s'arrêter, en montant ou en descendant. Mais toutes ces cordes encombreraient trop le puits, et il faut en restreindre le nombre. On a tenté aussi d'employer des signaux électriques, sur lesquels nous reviendrons en parlant de la circulation des hommes par cages guidées.

On dispose presque toujours le long du câble des index en peinture blanche, qui renseignent exactement le mécanicien sur la position de la cage. En outre, on reproduit à petite échelle, sur un tableau, les manœuvres du fond, de telle sorte que le mécanicien, en le regardant, puisse à tout moment savoir où sont les

cages. Citons encore l'appareil Gerhard, qui indique par une aiguille et enregistre par une pointe traçante la vitesse, à chaque instant, de l'arbre des bobines.

Nous n'indiquerons pas ici les moyens de calculer la force du moteur et ses divers éléments, longueur du piston, diamètre du corps de pompe, etc.; nos lecteurs trouveront ces formules dans les ouvrages spéciaux; en général, ces divers éléments restent renfermés dans les limites suivantes : la course du piston varie entre 1 et 2 mètres, le diamètre entre $0^m,50$ et 1 mètre, la vitesse moyenne du piston est comprise entre des limites peu écartées, $1^m,30$ ou $1^m,50$; celle des bennes entre $0^m,50$ et $1^m,50$; quant à celle des cages guidées, elle varie de 4 à 13 mètres. Il est dangereux de dépasser et même d'atteindre cette limite supérieure, équivalente à la vitesse d'un train omnibus. Le nombre de tours du volant par minute reste ordinairement compris entre 15 et 30; la force de la machine est naturellement très variable; la colossale machine d'extraction des mines de cuivre de Calumet et Hecla, au lac Supérieur, a été construite pour une force nominale de 4700 chevaux; elle est du type Compound et présente des particularités qui en font un exemple tout à fait exceptionnel[1].

Le tonnage de l'extraction journalière est des plus variables; à Newcastle, en y comprenant l'eau, les hommes et les matériaux, ce tonnage a atteint 1750 tonnes.

Dépense d'extraction. — Les frais de premier établissement de l'appareil d'extraction (chaudières, machines, chevalement, recettes, bâtiment, guidonnage) atteignent 150 000 francs pour un puits de 400 mètres; ils doivent être amortis en dix ans. On doit compter comme main-d'œuvre les frais des chauffeurs, du mécanicien, des enchaîneurs et des receveurs.

Sur les mines de houille, on consomme en général le mauvais combustible de la mine, de défaite difficile et valant au plus de 5 à 10 francs la tonne. Le câble pèse environ 7 kilogrammes par

1. Voir Haton de la Goupillière, t. II, p. 140 à 142.

mètre courant et vaut 1 fr. 20 le kilogramme ; il dure en moyenne 15 mois. Il faut tenir compte de l'entretien de la machine et du câble. En réunissant tous ces frais, le prix de revient d'un million de kilogrammètres utilisés est d'environ 1 franc.

Régularisation de l'extraction. — Si on appelle P le poids utile, p le poids du câble par mètre, H la hauteur du puits, il faut enlever au commencement $P + p\,H$ et à la fin $P - p\,H$. Comme le terme $p\,H$ est grand, quelquefois même plus que P, et comme, d'autre part, le rayon du treuil varie beaucoup par l'enroulement du câble, on voit qu'il faut demander à la machine un effort très variable. La théorie[1] indique divers moyens de régulariser cet effort ; nous nous bornerons à les énumérer rapidement. Un premier moyen consiste à avoir un câble sans fin qui s'équilibre toujours lui-même ; il a l'inconvénient de doubler la longueur du câble et ne s'emploie presque jamais. Un second moyen consiste à équilibrer le câble d'extraction par une chaîne amarrée à une de ses extrémités et attachée par l'autre à une corde qui passe sur une poulie de renvoi et va s'enrouler sur une poulie de rayon convenable, placée sur l'arbre du treuil.

Les bobines sur lesquelles les câbles plats s'enroulent en spirale d'Archimède comportent un moyen approximatif de régularisation par la valeur du rayon de la fourrure ; on peut y arriver également, quand on emploie un câble rond enroulé sur un tambour conique, par la forme de ce tambour. Enfin un dernier moyen consiste à comprimer de l'eau dans un accumulateur, au moyen de l'excédent de force vive disponible à la fin de chaque ascension et à récupérer cette force vive au début de chaque montée.

Moteurs divers. — Pour terminer ce chapitre relatif à l'extraction, nous allons dire quelques mots des procédés divers qui n'emploient pas de moteur à vapeur.

1. Les calculs relatifs à cette intéressante question sont exposés d'une façon sommaire par M. Badoureau à l'article Extraction, du *Dictionnaire de l'industrie et des arts industriels*, de M. E.-O. Lami, et très complètement dans le *Cours d'exploitation des mines*, de M. Haton de la Goupillière, t. II, ch. xxxiii.

Quand le puits est peu profond et l'extraction peu active, on recourt à la force de l'homme. Elle peut agir sur un treuil à bras, à l'extrémité d'une manivelle de 35 à 40 centimètres, avec une vitesse de 75 centimètres par seconde, en exerçant un effort de 7 à 8 kilogrammes et même de 12 kilogrammes ; on peut mettre deux hommes sur le bras de la même manivelle, et deux également à l'autre bout du treuil. Les hommes peuvent utiliser la totalité de leur poids sur des roues à marches ou à chevilles. On peut aussi employer des treuils différentiels ou des treuils composés.

Quand le travail augmente, on recourt à des chevaux tournant dans un manège, et traînant une pièce de bois capable de se piquer dans le sol, quand ils s'arrêtent, pour empêcher la charge de redescendre.

On peut aussi appliquer à l'extraction la force hydraulique sous la forme d'une roue à augets, d'une turbine, d'une machine à colonne d'eau ou d'une balance d'eau.

M. de Bovet emploie à l'extraction dans la mine d'or de Faria (Brésil) le travail d'une turbine située à 1600 mètres, transmis sous forme d'un courant de 33 ampères à 330 volts. La génératrice et la réceptrice sont deux dynamos Gramme identiques.

L'usage de l'air comprimé se répandant de plus en plus dans les mines, partout où existent des compresseurs et une canalisation, on fait avec succès usage, pour l'extraction, de treuils à air comprimé.

Une roue élévatoire à vapeur d'une énorme puissance, installée aux mines de cuivre de Calumet et Hecla, relève les déchets de la préparation mécanique à une hauteur de 12 mètres et les engage sur un plan incliné qui les précipite dans le lac Supérieur[1].

La sortie des matières abattues dans une carrière à ciel ouvert ressemble, dans une certaine mesure, à l'extraction dans les mines. On emploie principalement à cet usage les treuils mus par des

1. Voir, d'après *Scientific American*, M. Haton de la Goupillière, t. II, p. 215.

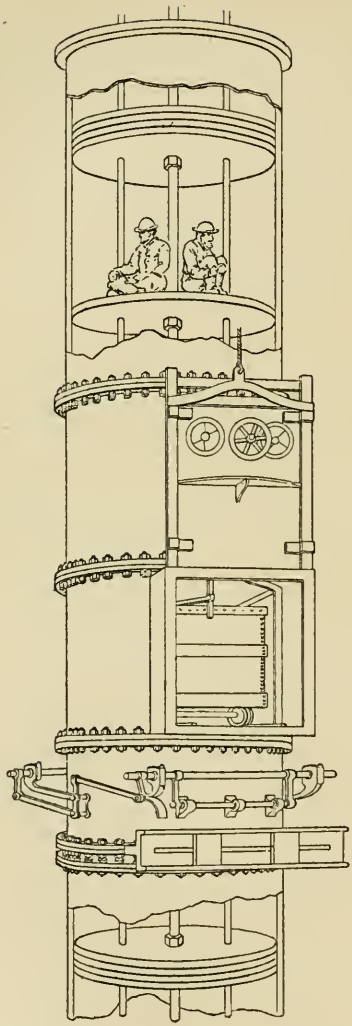


Fig. 64. — Extraction pneumatique du puits d'Épinac.

roues à chevilles, le billon de conduite et le billon de rappel dont nous avons parlé au chapitre III.

EXTRACTION SANS CABLE

Passons aux procédés qui n'exigent pas l'emploi d'un câble.

Celui qui a été imaginé à Anzin par M. Méhu et perfectionné par M. Guibal présente une grande analogie avec les fahrkunst, dont nous parlerons au chapitre X.

On a employé à Charleroi, en 1817, une sorte de noria, ou chaîne sans fin, supportant de distance en distance des wagons pleins ou vides, comme dans la chaîne flottante ou dans les plans aériens ; cette idée, reprise plusieurs fois, n'a pu arriver à fournir un appareil évitant à la fois les balancements et les ruptures.

EXTRACTION PNEUMATIQUE

Le système pneumatique, qu'il nous reste encore à exposer, a produit des résultats plus pratiques que le précédent, et fort intéressants.

Le principe consiste à installer un tube d'un très gros diamètre, régnant dans toute la hauteur du

puits, et à opérer un certain degré de vide à l'aide d'une puissante machine pneumatique, de manière à aspirer un piston-cage renfermant les objets qu'il s'agit d'extraire.

La première réalisation de cette idée est due à Cavé, dans un puits de 2 mètres de diamètre, mais d'une faible hauteur.

Elle a été appliquée en grand à l'extraction des mines par M. Zulma Blanchet à la fosse Hottinguer d'Épinac, dans un puits de $1^{m},60$ de diamètre (fig. 64). A la partie supérieure de ce puits on fait le vide de manière à ramener l'air à la pression d'un tiers d'atmosphère. On suspend au piston un chapelet de 9 chariots contenant chacun 6 hectolitres de charbon et donnant un poids utile de 4 tonnes, le poids mort étant de 7 tonnes et demie. A chaque ascension du piston, le puits s'emplit de l'air de la mine, et à la descente, au moyen d'une disposition spéciale, on rejette cet air à l'extérieur; on est donc dispensé d'avoir une machine spéciale pour ventiler la mine.

Suivant M. Blanchet, ce système serait aussi économique que satisfaisant. Les frais de premier établissement pour un tube de 603 mètres, y compris les accessoires et le moteur, seraient de 477 000 francs et les frais annuels de 20 000 francs. Avec le système ordinaire des câbles, les frais de premier établissement ne seraient, il est vrai, dans les mêmes conditions, que de 132 000 francs, mais les frais annuels atteindraient la somme de 82 000 francs.

CHAPITRE VIII

ÉPUISEMENT DES MINES

Les mines sont toujours envahies, dans une plus ou moins grande mesure, par les eaux de la surface ou par des eaux profondes, qui y pénètrent en traversant les terrains perméables ou crevassés de l'écorce terrestre.

L'extraction de cette eau constitue une opération dont l'étude fera l'objet de ce chapitre et qui est connue sous le nom d'*exhaure* ou d'*épuisement des mines*.

Parfois, l'exhaure est tellement coûteux qu'on préfère abandonner les richesses que la mine recèle encore.

VENUES D'EAU

Les venues d'eau se font en général par infiltration; cependant, les terrains exploités peuvent contenir de véritables rivières ou lacs souterrains; dans certaines mines, on s'est trouvé en face de veines coulant à plein tuyau et même de rivières souterraines venant de cours d'eau qui se perdent dans la terre pour reparaître plus loin; c'est ce qui explique que dans certains sondages, par exemple du Sahara, on ait trouvé des animaux vivants originaires de contrées éloignées. Mais, en général, les eaux viennent de petites fissures qui contiennent de l'eau en repos jusqu'au moment de l'ouverture de la mine. Tous les travaux faits à un niveau supérieur soulagent l'entretien d'eau des exploitations plus profondes. Il se

produit, dans certains cas, des afflux d'eau exceptionnels, soit par des couches perméables affleurant au jour, soit par des failles communiquant avec des masses d'eau superficielles.

Certaines mines se trouvent séparées de nappes d'eau énormes, par exemple de la mer, par un massif de protection qui est quelquefois très faible : $1^{m},20$ dans certaines parties riches de la mine de Huelcock (côte du Cumberland), qui s'avance sous la mer jusqu'à 150 mètres du rivage ; il faut alors calfater les fissures. Dans la mine de Huelcock, on ne se trouve réellement gêné que par des venues d'eau douce à travers le mur.

Dans le bassin houiller franco-belge, les terrains de recouvrement renferment à leur base une épaisse couche protectrice d'argile connue sous le nom de *dièves;* les couches supérieures des terres de recouvrement sont aquifères, et si on veut exploiter le bassin houiller, après avoir traversé ces couches par des procédés spéciaux (chapitre v), il faut toujours se prémunir contre les venues d'eau qui peuvent se produire par des fissures au travers de la couche imperméable ; la zone dangereuse peut être limitée, dans le cas d'une faille aquifère, à une bande peu large, voisine de la faille.

Enfin, on peut rencontrer, dans l'exploitation, des galeries naturelles creusées autrefois dans des terrains calcaires par des eaux acides, et dans lesquelles existe encore une circulation d'eau.

DÉFENSES

Comme on ne peut évidemment songer à rendre absolument imperméable toute la surface du sol au-dessus d'une mine, on se borne à se défendre contre les points d'infiltration permanente, lit de ruisseau, fond de vallée, de marais, d'étang, région où se trouvent des anciens travaux peu ou mal remblayés. On laisse souvent des parties du gisement, formant des massifs intacts appelés *investisons.* Il faut se rendre compte des cassures que l'exploitation projetée peut amener dans la partie supérieure du terrain et diriger l'exploi-

tation de manière que ces cassures ne viennent pas communiquer avec des endroits susceptibles de fournir des venues d'eau. Si des infiltrations se sont déjà produites dans d'anciens travaux, on mettra les nouveaux à l'abri, en réservant un massif de protection percé d'un trou que l'on ferme à volonté, mais que l'on peut ouvrir, de manière à saigner les eaux des vieux travaux. Il faut toujours avoir soin de se séparer par un massif de protection des concessions voisines, où l'exploitation pourrait être faite avec imprudence.

Nous allons indiquer certaines défenses, que l'on peut établir dans les galeries ou les puits sujets à des venues d'eau redoutables. Elles consistent en des barrages très soignés, connus sous le nom de *serrements* dans les galeries et de *plates-cuves* dans les puits. Ces cloisons étanches, généralement en bois, doivent être très solides, car elles ont à supporter des pressions énormes (autant de tonnes par mètre carré qu'il y a de mètres d'eau en charge); une rupture serait un véritable désastre pour la mine.

Les serrements sont rarement en pierre, car les fissures sont difficiles à aveugler; ils sont quelquefois métalliques. La maçonnerie convient mieux pour les plates-cuves que pour les serrements, car on peut piloner une couche d'argile imperméable; la fonte peut également convenir à l'exécution des plates-cuves.

On donne à ces ouvrages la forme droite ou une forme busquée ou sphérique, en bombant dans le sens d'où vient la pression.

On ménage, dans les serrements droits, une ouverture carrée, fermée à l'arrière au moyen d'un clapet garni de caoutchouc, et que l'on serre à l'avant à l'aide d'une fermeture autoclave.

Dans les serrements busqués ou sphériques, on appareille toutes les pièces par derrière, c'est-à-dire du côté de la venue d'eau; au contraire, pour la clef, on la tire de l'avant avec des tire-fond. Cette clef est souvent un bouchon vissé dans un cône en fonte, servant de trou d'homme. La figure 66 représente la coupe longitudinale d'un serrement sphérique.

Le travail indispensable du picotage et du calfatage est exé-

cuté par l'arrière, de manière à ce que la pression de l'eau ne fasse pas partir les picots.

Quand, dans l'exécution d'un serrement, on se trouve gêné par l'affluence des eaux, on fait deux batardeaux pour isoler une chambre de travail, que traverse seulement le tube destiné à faire passer l'eau de l'un de ces batardeaux à l'autre. Ce tuyau, qui se déplace au fur et à mesure de l'avancement du travail, passe à la fin à travers le trou d'homme et on ne l'en retire qu'au moment du complet achèvement de la fermeture. A ce moment, quand l'eau vient, il faut assurer l'évacuation complète de l'air qui est derrière; on perce à cet effet, à la partie supérieure, un trou de foret dans lequel on place un petit tuyau recourbé et montant. Au moment de la mise en charge, quand on voit l'eau arriver par ce tuyau, c'est la preuve de l'évacuation totale de l'air; on bouche alors avec un tampon en bois à coups de masse. Il ne faut pas négliger, pour obtenir une étanchéité complète, de garnir le derrière du barrage d'une feuille de caoutchouc vulcanisé ou d'une toile goudronnée.

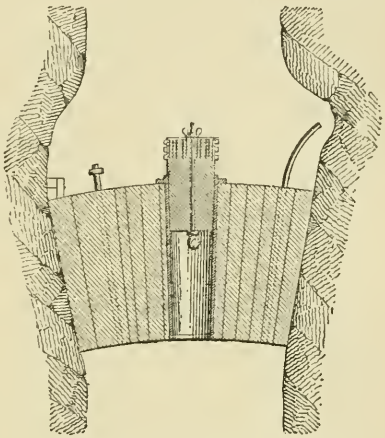


Fig. 65. — Serrement sphérique.

On a essayé, dans quelques cas, de consolider le serrement par une sorte de charpente exerçant, bien entendu, une pression moindre que l'eau, afin de ne pas tendre à ouvrir le barrage. En prévision d'une invasion subite des eaux, danger presque permanent pour certaines mines, on a recours aux serrements métalliques. Ainsi, à Pontpéan, on barre la galerie par un cadre en fonte ne laissant libre que le passage du chemin de fer. Une porte, préparée pour le fermer hermétiquement, lui est assemblée à l'aide de gonds. En

cas de coup d'eau, on ferme cette porte; des boulons en saillie dont elle est munie pénètrent dans des trous ménagés dans le cadre, on serre par derrière avec des écrous, on calfate et on a alors le temps de préparer un autre serrement.

La conservation des serrements étant d'une grande importance, il faut non seulement surveiller d'une façon incessante l'état de leur surface, mais connaître, au moyen de manomètres à ressorts disposés à cet effet, le degré de tension des eaux. Dès que l'on a un doute réel sur leur solidité, il faut construire à petite distance un second serrement; quand il est établi, on doit ouvrir des robinets de vidange ménagés dans le premier serrement qui cesse alors de fonctionner; par suite, l'eau arrive doucement sur le nouveau serrement.

CAPTAGE

Après avoir passé en revue les moyens employés pour réduire au minimum l'entretien d'eau de la mine, voyons comment on concentre les eaux que l'on n'a pu empêcher de pénétrer.

Dans la plupart des cas, cette concentration se fait par la pesanteur, pourvu que les galeries de roulage soient en pente vers le puits. Si la pente n'est pas suffisante, on dispose de distance en distance des puisards reliés deux à deux par des conduites suffisamment inclinées, et on verse l'eau de chaque puisard dans la conduite partant d'au-dessus de lui.

Si les galeries de roulage montent vers le puits, on fait en général descendre les eaux à un étage inférieur par un trou de sonde. En cas d'impossibilité, on emploie des pompes ou bien des tonneaux circulant sur des wagons. Des siphons, automatiquement amorcés, permettent de faire franchir aux eaux des seuils approchant d'une hauteur de 10 mètres.

Le *puisard* ou *bouniou* doit contenir l'entretien d'eau de la mine, c'est-à-dire la masse captée en vingt-quatre heures. On ménage, en outre, des réservoirs accessoires destinés à parer aux

crues exceptionnelles. Ils clarifient d'ailleurs les eaux par stagnation et, par suite, protègent les pompes. On retient les corps lourds en faisant passer les eaux sur un déversoir, et les corps flottants en filtrant les eaux de bas en haut à travers une grille. Parfois aussi, on les filtre à travers des toiles métalliques.

Le bouniou présente souvent de très grandes dimensions, car l'entretien d'eau de certaines mines est énorme (45,000 mètres cubes à Pontpéan).

Les eaux, à la sortie du puisard, doivent être amenées au jour.

S'il existe à la surface du sol un point voisin où le niveau des plus hautes eaux soit inférieur au niveau de l'eau dans le puisard, on sort les eaux par voie sensiblement horizontale. Dans le cas contraire, on doit recourir à un exhaure vertical dont l'importance est proportionnelle à l'entretien d'eau de la mine et à la profondeur du puisard.

Dans l'un et l'autre cas, il arrive souvent que plusieurs compagnies voisines se syndiquent pour faire une installation très puissante, relativement économique et susceptible de combattre les venues d'eau normales ou exceptionnelles.

GALERIES D'ÉCOULEMENT

Ainsi que nous venons de le dire, quand une mine ou une partie de ses travaux se trouve à flanc de coteau au-dessus des vallées voisines, il suffit de percer un débouché dans ces vallées pour l'écoulement des eaux. Cette galerie d'écoulement a une pente uniforme très faible. On recouvre rapidement les frais d'établissement de cette galerie, car on n'a plus à élever les eaux de la mine au-dessus de ce niveau.

Il arrive même, dans certains cas, que l'on fait pénétrer à dessein dans la mine les eaux superficielles, afin de créer une chute d'eau utilisable. Les nombreuses exploitations établies sur le filon d'ar-

gent de Comstock (États-Unis) se sont syndiquées, pour se relier au jour par une galerie de $4^m,86$ de largeur et de $3^m,65$ de hauteur, comprenant 6 kilomètres dans le filon et autant en travers-banc, et servant à l'extraction et à l'épuisement.

Les galeries d'écoulement ne peuvent commencer à être utiles que lorsqu'elles sont entièrement achevées. Pour arriver à une prompte exécution, on attaque non seulement par les deux bouts, mais par un certain nombre de points intermédiaires.

Ces galeries présentent toujours d'assez grandes dimensions : en général, la largeur moyenne est de 2 mètres et la hauteur de 3 mètres, afin que la circulation des hommes qui visitent la galerie puisse être facile sur un plancher au-dessus de l'eau. On a soin aussi d'établir sur ce plancher une voie ferrée, pour assurer le transport des matériaux nécessaires en cas de réparations, malheureusement assez fréquentes. La sole de la galerie d'écoulement demande à être imperméable. On établit les travaux au mur plutôt qu'au toit des gîtes, afin que l'exploitation ne disloque pas la sole. Pour offrir une longue durée, ces ouvrages doivent être muraillés et garantis par des massifs de protection contre les mouvements du terrain, susceptibles de produire des ébranlements provoquant des infiltrations vers le bas. Pour traverser de vieux gîtes, on fait couler les eaux dans un canal en bois, suspendu, et par suite soustrait aux ébranlements : on a même recours à un lit artificiel en fonte.

Nous avons dit, en traitant de la navigation souterraine (chapitre VI), que dans certains cas, relativement peu fréquents, on donne à ces galeries d'écoulement les dimensions de petits canaux, afin de faire par bateaux le transport des matières à extraire de la mine.

C'est surtout dans les mines métalliques, plutôt que dans les houillères, que l'on rencontre les galeries d'écoulement : en effet, dans les houillères, le charbon à bon marché se prête bien à l'utilisation de machines d'épuisement; d'un autre côté, dans les mines métalliques, situées en général en pays de montagnes, les

galeries d'écoulement sont habituellement possibles; enfin elles apportent parfois un important appoint à l'exploration du gîte.

On rencontre, dans le centre de l'Europe, d'importantes galeries d'écoulement. A Freyberg, la galerie *Rothschönberger* a une longueur de 47 kilomètres, une section de $1^{m},50$ de large sur 3 mètres de haut, et une pente de $0^{mm},5$ par mètre.

L'État, propriétaire de mines, peut faire ces travaux énormes et onéreux, pour accroître les bénéfices ultérieurs de la mine.

MACHINES D'ÉPUISEMENT

Quand on ne peut pas obtenir un épuisement naturel, il faut employer à cet effet une machine dont le premier organe est une pompe.

Pompes de mines. — Les pompes de mines peuvent amener, d'un seul coup, les eaux du fond au jour; le plus souvent, la hauteur est divisée en plusieurs étages munis de bâches.

Les pompes se classent, d'après leur mode d'action, en pompes *aspirantes*, *foulantes* ou *élévatoires* à piston creux ou plein. Sur les figures 67, 68, 69, 70, qui les représentent, on a adopté la convention irréalisable d'ouvrir à la fois toutes les soupapes pour montrer le sens de leur jeu.

Nous ne décrirons pas le fonctionnement bien connu de ces appareils.

Généralement, on installe au fond du puits une pompe aspirante, pour élever les eaux à 6 ou 7 mètres de hauteur, et, à partir de là, on les élève au jour par une pompe d'un seul jet ou par des pompes à répétition du type élévatoire ou foulant.

Si on dispose d'une machine motrice à rotation ou à double effet, on lui fait manœuvrer en sens contraire deux maîtresses tiges régnant dans toute l'étendue du puits, s'équilibrant l'une l'autre, et actionnant alternativement les tiges des pompes successives. On peut aussi employer une seule maîtresse tige, dont le poids égale

celui de l'eau, et l'équilibrer en partie par un contrepoids égal à sa moitié. Que la tige monte ou descende, le travail à demander à la machine a la même valeur.

Si au contraire, et c'est le cas le plus fréquent, la machine motrice est à simple effet, on n'a besoin que d'une seule maîtresse tige attelée directement, ou par l'intermédiaire d'un balancier, à celle du cylindre moteur. La machine est employée à élever la tige,

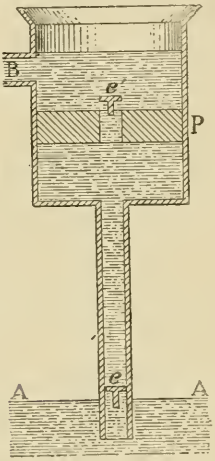


Fig. 66. — Pompe aspirante.

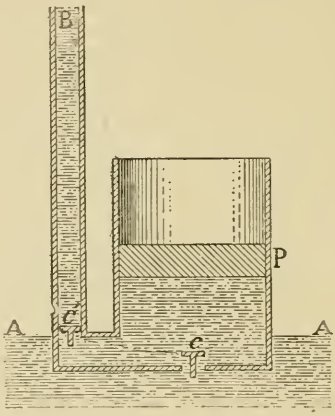


Fig. 67. — Pompe foulante.

et celle-ci en descendant refoule l'eau dans les tuyaux montants. Les pompes sont foulantes, leur travail n'est pas très régulier, mais cette disposition est celle qui simplifie le plus les pompes. On décompose la maîtresse tige en un certain nombre d'éléments, chacun d'une section différente, qui opèrent pour leur propre compte et refoulent l'eau dans la colonne montante correspondante.

On surcharge ou on équilibre, s'il y a lieu, chaque portion de la maîtresse tige, de telle sorte que, entre deux parties consécutives de la maîtresse tige ou au point d'attache, la charge soit nulle pendant la descente des tiges et égale, pendant leur ascension, au poids de toutes les colonnes d'eau inférieures. Si toutes les

répétitions sont identiques, la charge, en un point quelconque, est proportionnelle au nombre de répétitions inférieures, et si la section est proportionnelle à la charge, on a pour la section longitudinale de la maîtresse tige un profil parabolique.

La maîtresse tige n'a pas besoin d'être rigide et ne fouette jamais. Ainsi que nous l'avons dit, la pompe du bas est toujours une pompe aspirante. Elle est munie d'un tuyau qui plonge dans le puisard de la mine. Ce tuyau, fermé au bout, est muni de *narines*

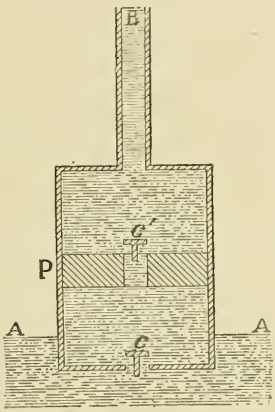


Fig. 68. — Pompe élévatoire à piston creux.

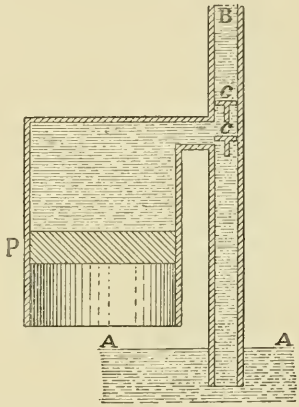


Fig. 69. — Pompe élévatoire à piston plein.

latérales; il se prolonge d'environ 5 mètres au-dessus du niveau de l'eau dans le puisard et, à sa partie supérieure, il est fermé par un clapet d'aspiration renfermé dans une chambre renflée, désignée sous le nom de *chapelle*. Celle-ci est munie de portes boulonnées que l'on peut déboulonner afin d'ouvrir la chapelle pour sortir le clapet; si la pompe est noyée, on sort son piston, et on descend dans le tuyau montant un crochet qui saisit le clapet par une anse.

Le corps de pompe est généralement en fonte; on a soin de bien l'aléser. Les eaux des mines, notamment celles des mines métalliques, sont généralement acides et obligent souvent à faire le corps de pompe en bronze ou en métal Delta.

Les clapets sont quelquefois en cuir, en caoutchouc ou gutta-percha, avec armature métallique, plus souvent entièrement métalliques. Ils sont coniques, sphériques (postillons) ou hémisphériques.

Les chapelles doivent être très résistantes ; elles sont éprouvées à des pressions quintuples de celles qu'elles doivent normalement supporter.

Les pistons sont en bois et cerclés, recouverts à la partie inférieure de fonte ou de bronze ; on leur met généralement une garniture d'étoupe, de cuir ou de gutta-percha. On emploie avec avantage les pistons Deleuil à pourtour strié, qui même avec une marche peu rapide donnent une bonne étanchéité. On fait souvent usage de pistons plongeurs frottant seulement dans le presse-étoupes ; ils sont percés d'un petit canal pour l'échappement de l'air.

Quant aux bâches, elles consistent en des cuves en tôle supportées par de forts sommiers en bois arc-boutés à l'aide de jambes de force. Si une pompe fonctionne trop rapidement, il se produit un trop-plein qu'il faut ramener à la bâche inférieure ; à cet effet, toutes les bâches sont reliées entre elles par des tuyaux de déversement.

Souvent, au lieu de répétitions, une seule pompe élève d'un coup la colonne d'eau à de très grandes hauteurs. Aux salines d'Illsang, près de Berchtesgaden (Salzkammergut), une seule pompe élève à 370 mètres de l'eau fortement salée. L'eau monte, avec une vitesse qui ne doit pas dépasser un mètre par seconde, dans des tuyaux de fonte, de tôle ou de laiton ; ces tuyaux sont munis de brides et ils sont superposés les uns sur les autres et réunis par des boulons ; l'étanchéité est assurée par un grain d'orge circulaire permettant d'écraser du plomb ou de mater du cuivre ou du laiton ; on fait aussi usage de gutta-percha et de mastic. Par suite de l'acidité des eaux, les tuyaux sont rapidement attaqués, aussi doit-on les peindre au minium et les garnir intérieurement de bois ; en Angleterre, on en fait en carton bitumé ; mais il serait peut-être plus économique d'employer des métaux inattaquables.

En tous cas, les tuyaux inférieurs, ayant à supporter une plus forte pression, doivent avoir une plus grande épaisseur que les tuyaux supérieurs,

Pour éviter les coups de bélier, il faut employer des cloches d'air. La maîtresse tige qui règne sur toute la hauteur du puits est en général faite en bois de chêne ou de sapin rouge du Nord. Afin de l'alléger, on lui donne un équarrissage décroissant du haut en bas; les divers éléments qui la composent sont soigneusement assemblés en trait de Jupiter, ou réunis par des clames (fig. 70), boulonnés dans le corps des tiges et sur deux files, afin de recouper moins fréquemment les mêmes fibres. Les maîtresses tiges en bois travaillent seulement à 500 ou même à 200 grammes par centimètre carré. Parfois, mais rarement, on les établit en poutres en treillis de fer, ou mieux d'acier.

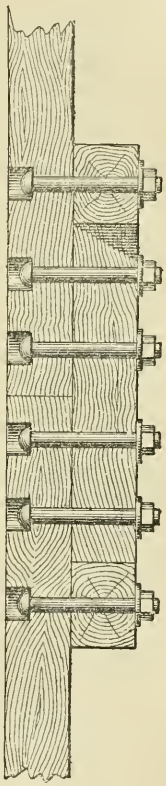


Fig. 70. Maîtresse tige en bois.

On installe généralement, sous un toit qui la met à l'abri de la pluie, une machine-cabestan pour la pose et la réparation des pompes, dont les différentes pièces sont lourdes à manœuvrer; ce cabestan peut être à bras, mais pour les exhaures importants on l'actionne par une machine à vapeur spéciale.

Afin de faciliter les réparations, on établit dans le puits des pompes une descenderie d'échelles avec paliers, qui facilitent de plus la surveillance. Le service des pompes doit être confié à un personnel éprouvé.

Nous n'entrerons pas ici dans le calcul des pompes; disons seulement que le diamètre des corps de pompe varie depuis $0^m,20$ jusqu'à 2 mètres, et la course du piston de $1^m,50$ à 4 mètres; au puits Henri, de Neu-Essen (Westphalie), on a installé des pompes de $2^m,22$ de diamètre et de

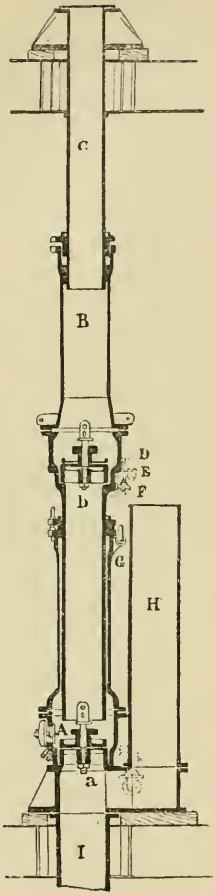


Fig. 71.
Pompe Rittinger.

D, regard.
E, robinet de vidange.
F, robinet d'air.
G, anneaux de suspension.
H, colonne de redoublement.
I, arrivage de l'eau de l'étage inférieur.

$3^m,10$ de course. Le nombre des coups de piston par minute est de dix pour les petits appareils, et pour les grands de trois. Les pompes sont calculées de manière à assurer l'épuisement de l'entretien d'eau de la mine en huit heures; elles n'utilisent que 75 0/0 du travail de la machine motrice, la perte est absorbée : 12 0/0 par les frottements dans le foulement, 8 0/0 par les frottements dans la levée, et 5 0/0 par l'eau redescendue.

On a créé pour les mines quelques dispositifs spéciaux, tels que la pompe Colson-Rittinger (fig. 71), dans laquelle tout l'ensemble se trouve en ligne droite du haut jusqu'en bas ; les corps de pompe mobiles sont suspendus à une maîtresse tige formée de deux fers ronds ; ils se foulent dans leur mouvement contre des soupapes. L'eau de la bouche s'introduit dans une cavité fixe A, située à la base, par un clapet *a*, ouvrant de bas en haut. Une colonne mobile B pénètre, à travers un stuffing-box, par la partie supérieure dans cette cavité. Elle-même embrasse au moyen d'une garniture un tube fixe C qui fait partie de la conduite supérieure.

La pompe Rittinger, en dehors d'avantages mécaniques très réels que nous ne pouvons développer dans cet ouvrage, se recommande par sa symétrie, par l'économie d'emplacement dans le puits et par la suppression des chapelles. Elle a un fonctionnement assez rapide ; malheureusement son prix de revient est assez élevé.

Moteur d'épuisement. — La force des hommes ou des che-

vaux est d'un emploi rare pour l'épuisement; on peut cependant transformer le mouvement rotatif qu'ils produisent en un mouvement alternatif, pour mettre les pompes en marche.

Les moulins à vent ont été employés à Dannemora comme moteurs d'épuisement.

Les forces hydrauliques sont d'un usage plus fréquent. Quand la chute d'eau utilisée présente une hauteur limitée, une roue à augets peut être employée. Son mouvement rotatif lent actionne par transmission dans les puits d'exhaure deux maîtresses tiges, qui conduisent des pompes. La force est transmise au moyen de bielles, ou mieux par un câble télédynamique sans fin enroulé sur deux poulies que des engrenages relient à l'arbre de la roue hydraulique et aux pompes.

La chute d'eau peut être plus considérable; dans ce cas, on recourt à une turbine ou à une machine à colonne d'eau à simple effet, qui commande directement les pompes par sa tige.

Le plus souvent on se sert de la vapeur.

Lorsque l'entretien d'eau ne dépasse pas sensiblement le double de l'extraction quotidienne, la machine d'extraction elle-même peut être utilisée pendant quelques heures. Dans ce cas, on installe dans les cages d'extraction des caisses à eau, qui se remplissent dans le puisard par simple soulèvement d'un clapet et se vident au jour sans être déplacées.

On peut aussi établir, sur l'arbre de la machine d'extraction, une manivelle actionnant des pompes pendant la durée de l'extraction. Mais, en général, l'entretien d'eau est plus considérable et il est nécessaire d'avoir une machine à vapeur spéciale pour l'épuisement. Ce moteur peut être une machine à rotation, fixe si l'épuisement est permanent, locomobile s'il n'est que provisoire. Il est établi au fond du puits ou au jour; dans le premier cas, il commande directement la pompe, mais il s'avarie vite; dans le second, il est mieux protégé, mais il faut recourir à l'emploi de tiges de renvoi lourdes et encombrantes.

Le volant n'a pas besoin d'avoir de grandes dimensions, car

la régularité n'est pas nécessaire ; il suffit qu'il permette de franchir les points morts.

Quand on a à faire de grands épuisements, on emploie généralement une machine à simple effet et à moyenne pression, du type connu sous le nom de « machine de Cornouailles ». Dans cette machine à balancier, à condenseur et à distribution par soupapes, la vapeur agit au début à pleine pression sur la partie supérieure du piston qu'elle fait descendre, en même temps qu'elle fait monter la maîtresse tige de la pompe attelée à l'autre extrémité du balancier. On coupe l'admission de la vapeur, et on la laisse se détendre ; le piston arrive au bas de sa course presque sans vitesse. En établissant alors l'équilibre de pression sur les deux faces du piston, les tiges descendent par leur poids et l'eau se trouve refoulée dans la colonne montante. La soupape d'équilibre est fermée avant que le piston n'ait terminé sa course ; la vapeur, qui se trouve au-dessus, se comprime et arrête le piston. Pour donner un second coup de piston, on ouvre la soupape d'échappement pour mettre le condenseur en communication avec le dessous du piston, puis celle d'admission qui fait communiquer la chaudière avec la partie supérieure, qui contient déjà de la vapeur comprimée. Cette machine peut consommer moins d'un kilogramme de vapeur par cheval-heure.

On préfère souvent établir une traction directe en renversant le jeu de la vapeur. Ce système, qui est moins coûteux, ne nécessite pas un point d'appui solide de l'axe du balancier ; il permet en outre à la vapeur agissant à la partie inférieure du cylindre de l'appuyer contre le sol ; par contre, le cylindre encombre l'ouverture du puits et est exposé, en cas d'explosion, à de graves détériorations [1].

On fait aussi un usage fréquent de la machine Woolff, dans laquelle la détente est obtenue au moyen de deux cylindres superposés ou juxtaposés.

1. Le diamètre du cylindre de la machine de Cornouailles varie de $0^m,50$ à $2^m,50$, la course du piston de 2 à 3 mètres, la vitesse à la montée est de $1^m,30$ environ et de $0^m,45$ à la descente.

M. Kley est l'inventeur d'un type très remarquable (fig. 72) de machines à double effet, munies d'un arbre de rotation et d'un volant. La machine Kley possède une allure intermittente gouvernée par une cataracte à huile, chargée d'ouvrir l'admission pour la

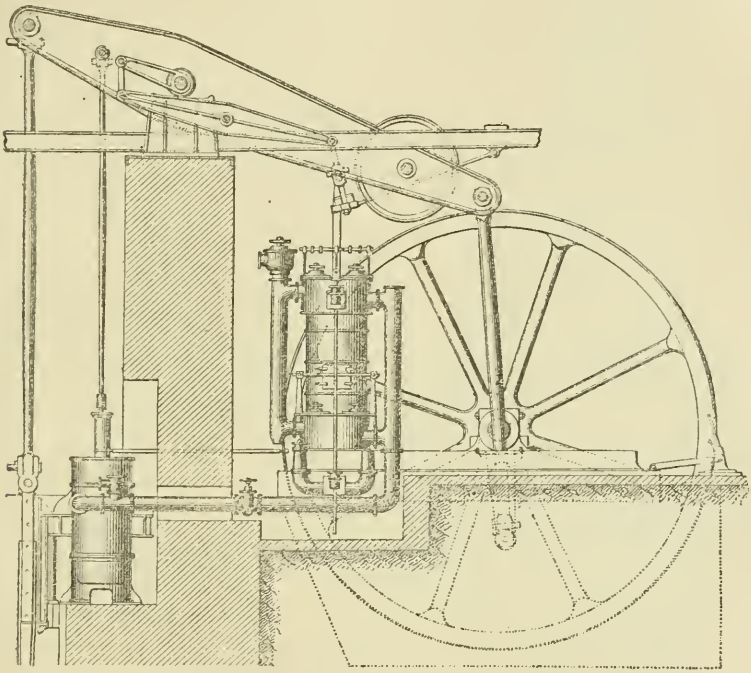


Fig. 72. — Machine d'épuisement Kley.

course descendante du piston, qui est destinée à enlever la maîtresse tige; la course ascendante suit sans interruption; pendant la révolution de l'arbre, la machine opère elle-même les autres fonctions de la distribution. Quant au volant, il permet au début d'emmagasiner un excès de force vive qu'il restitue en fin de course. La machine s'arrête après son double coup et reste en repos jusqu'à ce que la cataracte ouvre de nouveau l'admission.

Régénérateur Bochkoltz. — M. Bochkoltz est l'auteur d'un

perfectionnement remarquable (fig. 73), connu sous le nom de *régénérateur de force*.

Dans la machine de Cornouailles, l'effort que supporte la tige en marche est mesuré par le poids d'une colonne d'eau, dont la base est la surface du piston et la hauteur sa distance au niveau supérieur.

Au départ, on a de plus à soulever le clapet dormant; si son poids n'est pas important, par contre, la différence de la pression de l'eau sur ses deux faces est considérable : elle est égale à la pression qui s'exercerait sur une surface égale au recouvrement, qui est, en général, au moins le cinquième de la surface du clapet. Par suite, la maîtresse tige devra, pour pouvoir ouvrir le clapet, avoir un excédent de poids qui peut produire, dans la descente, des accélérations dangereuses de la machine. On y remédie, il est vrai, en étranglant la soupape d'équilibre ; mais cette solution est imparfaite. M. Bochkoltz a réalisé une solution très simple, qui consiste en un poids très lourd B, que l'on place à l'extrémité d'un bras de levier assemblé à angle droit sur le milieu du balancier. Cette sorte de pendule agit comme

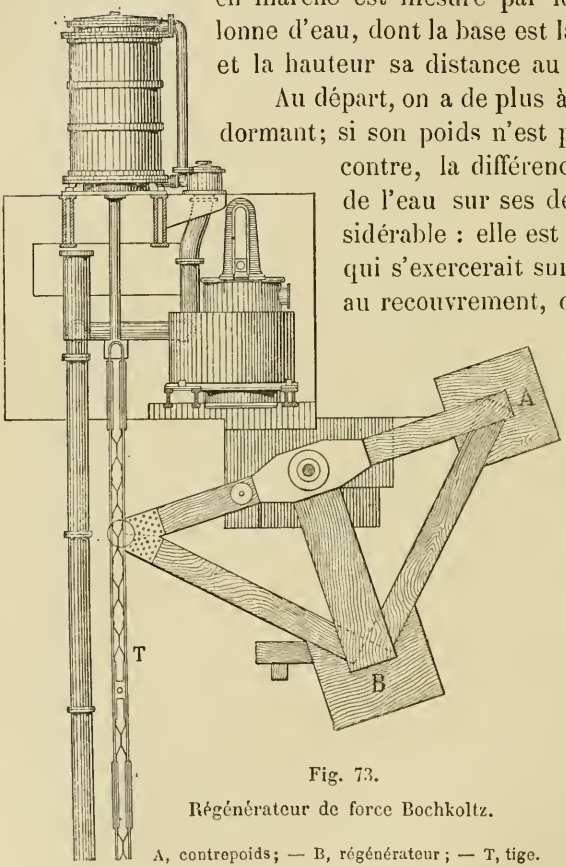


Fig. 73.
Régénérateur de force Bochkoltz.
A, contrepoids; — B, régénérateur ; — T, tige.

moteur pendant le commencement de la course descendante et de la course ascendante des tiges, et comme frein pendant la fin de la course descendante ou de la course ascendante des tiges.

Voici enfin quelques chiffres relatifs à une machine d'épuisement que nous avons vue fonctionner à Hardinghen (Boulonnais) : entretien d'eau, 5000 mètres cubes ; durée de l'épuisement, 20 heures ; profondeur, 320 mètres ; poids de l'appareil, 422 tonnes ; contrepoids, 190 tonnes. Prix, sans le contrepoids, 230 000 francs ; force nominale, 550 chevaux. La dépense d'épuisement d'une tonne d'eau à 100 mètres de profondeur est en général de 0 fr. 03 avec une machine de Cornouailles.

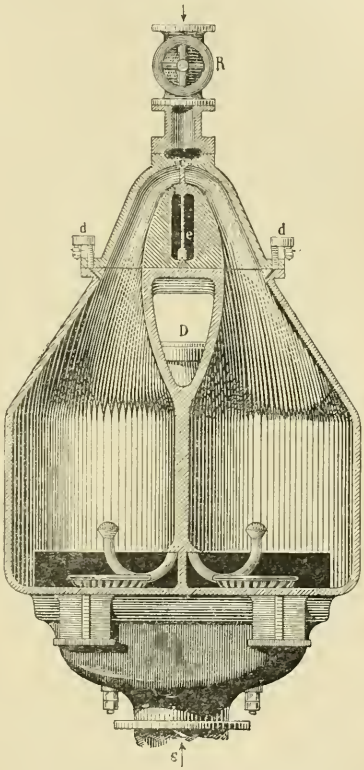


Fig. 74. — Pulsomètre. (Coupe.)

R, entrée de la vapeur ; S, aspiration de l'eau ; D, refoulement de l'eau ; e, languette distribuant la vapeur ; d, évents.

MOYENS D'ÉPUISEMENT

On a imaginé, en dehors des moyens d'épuisement dont nous venons de parler, d'autres appareils d'élévation d'eau tels que les pompes rotatives de systèmes variés, mais elles ne conviennent qu'à de faibles hauteurs et nécessitent des répétitions trop fréquentes ; les pompes centrifuges n'utilisent qu'une faible partie du travail moteur, et ne peuvent élever l'eau qu'à une hauteur encore plus faible que les pompes rotatives ; on a aussi employé les pompes à double effet, les pulsomètres de Hall, dans lesquels l'eau

est élevée au moyen de la vapeur mise directement en contact avec elle.

Les pulsomètres sont des appareils simples et solides, n'exigeant pas de graissage ni d'autres frais d'entretien. On les descend par une simple chaîne de suspension. La hauteur d'aspiration varie de 2 à 5 mètres, mais ils peuvent fonctionner noyés. La hauteur de refoulement est de 10 à 30 mètres.

L'élévateur Kœrting à ajutages convergents-divergents utilise l'action dynamique de la vapeur à la façon de l'injecteur Giffard.

L'air comprimé, aujourd'hui si répandu dans les mines, peut être substitué à la vapeur dans le fonctionnement des pompes.

On peut aussi recourir à l'épuisement à impulsion hydraulique directe réalisé par la pompe Parson.

Les machines à colonne d'eau conviennent bien à l'épuisement des mines : des intermédiaires solides y reçoivent, d'un côté, l'action de l'eau motrice et la transmettent, de l'autre, à l'eau qu'il s'agit d'élever. Il en existe des types très variés : la pompe à colonne d'eau simple de Griff-Colliery, la pompe à colonne d'eau double des salines du Mansfeld, la machine Roux, comprenant deux pompes à double effet en communication avec le même réservoir d'air...

CHAPITRE IX

VENTILATION

Le problème de la ventilation des mines est un de ceux qui ont été le plus étudiés et le mieux résolus dans ces dernières années. Il ne s'agit pas de permettre au mineur, enfoui dans les profondeurs de la terre, d'y trouver en égale pureté l'air vivifiant

que les travailleurs des champs respirent à la surface ; mais l'humanité exige l'amélioration de l'atmosphère des mines ; l'intérêt également, car le mineur pourra ainsi donner un meilleur rendement.

CAUSES DE VICIATION DE L'AIR DES MINES

Nous ne parlerons qu'incidemment dans ce chapitre du grisou, qui fera l'objet principal du chapitre XI, mais ce gaz n'est pas le seul fléau des mines ; d'autres causes viennent vicier l'atmosphère souterraine ; l'une des plus graves est l'élévation de température produite par la chaleur vitale des hommes et des chevaux, la combustion des lampes, le tirage à la poudre, la proximité des sources thermales, les incendies souterrains, le voisinage de la masse fluide interne de la terre.

Aux mines d'argent du Comstock (États-Unis), les ouvriers ont pu supporter une température de 47° centigrades, mais ils ont dû cesser de travailler à 54°. Les effets de cette température élevée sont l'oppression, la congestion, l'évanouissement, la sudation, le tarissement des urines, l'inappétence, l'amaigrissement et le rhumatisme. La température élevée est surtout difficile à supporter en cas d'abondance de vapeur d'eau.

Par ce motif, le travail a été pénible pour le percement du Gothard à 25° et impossible à 35°. M. Dubois-Reymond estime que, dans ces conditions, une température de 40° serait mortelle.

Il faut donc chercher à rafraîchir le plus possible l'atmosphère des mines ; l'emploi de la lumière électrique, la perforation et le bosseyage mécaniques donnent à ce point de vue d'assez bons résultats, mais le véritable remède consiste dans une ventilation énergique au moyen de grandes masses d'air.

L'élément vivifiant de l'atmosphère des mines en est extrait par la respiration des hommes et des animaux, par la combustion des lampes, par la fermentation ou la combustion des sulfures, de la houille, des bois et des fumiers ; les lampes brûlent mal dans

les mines, l'air y est *lourd*, les mineurs sont anémiés, parfois même asphyxiés.

L'air se trouve vicié par l'addition d'éléments nuisibles produits par les réactions que nous venons d'indiquer et par les fumées des explosifs, notamment de la dynamite, qui produit de l'acide hypoazotique.

L'acide carbonique, que les mineurs appellent la *touffe*, est asphyxiant pour l'homme et empêche la combustion des lampes; par suite de sa densité, il se tient à la sole des chantiers, ce qui le rend plus dangereux pour l'homme qui tombe évanoui; une lampe qu'on descend décèle sa présence en s'éteignant brusquement. Ce gaz peut provenir de fissures volcaniques, être emprisonné dans la roche sous une forte pression, comme à Brassac, où les mineurs l'appellent la *pousse*, car il peut chasser les charbons en produisant des explosions; mais souvent il vient de l'attaque de calcaires par les produits de l'oxydation de pyrites. En dehors de la ventilation, on peut, dans les cas urgents, remédier à la présence de l'acide carbonique par l'emploi de chaux en poudre ou d'alcalis en solution.

Quant à l'oxyde de carbone, qui est un poison très violent, il est plus léger que l'air et ne se révèle par aucun signe manifeste, tel que l'extinction de lampes; mais sa présence, très rare dans les mines, ne se produit qu'à la suite d'incendies, de coups de grisou et surtout d'inflammation de poussières charbonneuses.

L'hydrogène sulfuré, dont l'odeur est si caractérique, est très vénéneux; il est lourd, mais moins que l'acide carbonique, et plus diffusible que ce gaz. Il apparaît rarement, mais spontanément.

La décomposition des matières organiques et la présence des excréments amènent dans l'atmosphère des mines des produits ammoniacaux et des miasmes divers.

Dans les mines de mercure, les vapeurs mercurielles et les poussières de cinabre constituent un très grand danger, auquel le mineur est inévitablement exposé, et qui l'oblige à alterner les travaux souterrains avec des travaux au jour. On trouve dans d'autres mines des poussières qui blessent les poumons; on a voulu y

remédier, mais sans résultat pratique, en obligeant le mineur à respirer au travers d'une éponge. Dans les houillères, les poussières charbonneuses présentent de réels dangers d'explosion sur lesquels nous reviendrons au chapitre XI.

MESURES DE L'AÉRAGE

Quantité d'air nécessaire. — L'instruction ministérielle de 1872 réclame, pour les mines grisouteuses, un nombre de mètres cubes d'air par seconde variant entre 1/20 et 1/10 du nombre de tonnes extraites en 24 heures.

D'après M. Schondorf, dans les houillères, pour que l'aérage soit suffisant, il faut que l'absorption d'oxygène par les hommes et par les chevaux ne dépasse pas 1,5 0/0 du volume qui passe, que le développement d'acide carbonique par les hommes et par les chevaux ne dépasse pas 0,5 0/0, et que le dégagement d'hydrogène carboné ne dépasse pas 0,6 0/0 du même volume.

Il ne s'agit pas seulement d'envoyer de l'air, il faut bien brasser le courant de façon à laver toutes les parties de la mine. Suivant Pline et Agricola, les ouvriers agitaient à cet effet des toiles et leurs habits. Sans recourir à ces étranges procédés, il faut obtenir un brassage convenable. M. Guibal, pour y arriver, conseille de disposer convenablement les portes d'aérage et de les rendre le plus fréquentes possible.

On a reproché à un aérage trop vif d'être la cause de l'extension des coups de feu ou tout au moins de soulever des poussières reposant sur le sol. M. Haton de la Goupillière combat cette opinion erronée, et expose que le seul préservatif, qu'il y ait lieu de mettre en œuvre contre les dangers du grisou consiste dans l'envoi d'un excès d'air capable de noyer le gaz dangereux ; certains ingénieurs conçoivent même une ventilation assez active pour pouvoir se passer des lampes de sûreté. Au moins, faut-il envoyer assez d'air pour rendre possible la respiration des hommes. L'atmosphère

renferme 21 0/0 d'oxygène ; elle peut être encore respirable avec 15 0/0, mais il vaut mieux ne pas descendre au-dessous de 18 0/0, afin de ne pas produire chez le mineur une trop grande et trop dangereuse anémie.

Dépression motrice. — La *dépression motrice* est l'excès de la tension de l'air entrant dans la mine sur celle de l'air qui en sort. On la mesure habituellement en kilogrammes par mètre carré. M. Haton de la Goupillière démontre, dans son *Traité d'exploitation des mines,* que le travail nécessaire, pour engager dans les travaux un certain volume d'air, est le produit de ce volume par la dépression ; que, pour une mine donnée, la dépression est en raison du carré du débit que l'on y veut faire circuler, et que le travail nécessaire pour la ventilation varie en raison du cube du débit.

Orifice équivalent. — M. Murgue définit l'ensemble des résistances opposées par une mine à la ventilation par son *orifice équivalent*, c'est-à-dire par la surface en mètres carrés de l'orifice en mince paroi, à travers lequel la même dépression ferait passer, dans le même temps, le même volume d'air que dans la mine. On calcule facilement cet orifice équivalent a en fonction de la dépression h et de l'écoulement q par seconde par la formule $a = 0{,}38 \frac{q}{\sqrt[2]{h}}$.

M. Murgue a évalué cet orifice équivalent pour un grand nombre de mines. Il a appelé mines *moyennes* celles dont l'orifice équivalent s'éloigne peu de 1 mètre carré, mines *larges* celles dont l'orifice est notablement supérieur, et mines *étroites* celles pour lesquelles il est sensiblement moindre.

En général, les mines anglaises sont très larges (leur orifice équivalent s'élève jusqu'à 6 mètres carrés) et les mines belges sont très étroites (leur orifice équivalent descend à $0^{m2},16$).

La vitesse moyenne du courant d'air dans chaque galerie est égale au quotient du débit de cette galerie par sa section. La valeur la plus convenable est $0^{m},60$ par seconde. Une vitesse supérieure à $1^{m},20$ risquerait de faire sortir la flamme des lampes, soulèverait les poussières et refroidirait le mineur en transpiration ; une

vitesse trop faible n'entraînerait pas suffisamment les gaz délétères ou explosifs.

Cette vitesse peut être mesurée au moyen de nombreux appareils connus sous le nom d'*anémomètres*, sur lesquels nous n'insisterons pas ici. Nous nous bornerons à dire que la vitesse du courant d'air varie dans une très large mesure d'un point à l'autre d'une section d'une galerie de mine, et que la mesure de la vitesse moyenne est une opération fort délicate.

L'anémographe Hipp enregistre le nombre de tours que fait pendant chaque quart d'heure un anémomètre placé dans le courant d'air et avertit automatiquement, quand ce nombre descend au-dessous d'un minimum déterminé.

Quant à la dépression, on l'apprécie au moyen de manomètres particulièrement sensibles. L'indicateur de dépression Gerhard en donne une mesure visible sur un arc gradué et l'enregistre sur une bande de papier.

Les mesures de dépression et de vitesse sont consignées sur des registres spéciaux ; on a soin également de tenir des plans contenant d'une façon très claire les principaux détails de l'aérage. Souvent, des surveillants spéciaux de l'aérage visitent chaque jour la mine à ce point de vue, laissent en divers points des traces de leur passage et préviennent les postes menacés.

Les ingénieurs du corps des mines font, dans leurs tournées, des mesures anémométriques ; quand ils constatent que, faute de retours d'air assez larges, la mine est trop étroite, ou que, faute de ventilateurs suffisants, elle n'est pas assez aérée, ils recourent successivement aux observations officieuses, aux arrêtés préfectoraux pris en vertu de l'article 4 du décret du 3 janvier 1813, aux poursuites correctionnelles, etc.

DISTRIBUTION DU COURANT D'AIR

Il faut, pour bien utiliser l'air envoyé dans la mine, assurer une bonne distribution du courant; s'il était abandonné à lui-

même, il passerait par la voie où il trouverait le moins de résistance du point d'entrée jusqu'à l'orifice de sortie; l'air resterait stagnant dans le reste des travaux. Pour l'obliger à circuler partout, on emploie les portes d'aérage, les cloisons, les barrages et les tuyaux ou canars.

Les *portes d'aérage*, établies dans des endroits convenablement choisis, interrompent le courant d'air, tout en réservant des passages pour les hommes et les trains.

Elles doivent être soigneusement installées; il est impossible cependant que, par des fentes ou des ouvertures à la partie inférieure pour le passage des rails, il ne se produise pas de déperdition d'air. Elles sont souvent munies de guichets laissant passer une certaine quantité d'air. Il est essentiel que l'on dispose ces portes à guichets à l'entrée des quartiers et non pas à la sortie, car, dans ce cas, elles arrêteraient des masses viciées qui pourraient devenir dangereuses; on choisit de préférence les galeries de roulage, mieux surveillées que les autres, pour y mettre les portes d'aérage; celles-ci peuvent être manœuvrées par les hommes qui circulent, mais il vaut mieux charger spécialement de leur garde un enfant. Quelquefois, on assure l'étanchéité au moyen de bandes de caoutchouc.

Les *cloisons* sont des galandages en planches disposées verticalement sur la hauteur de la galerie ou horizontalement; ce plancher surélevé supporte la voie ferrée, le retour d'air a lieu par en dessous; les joints de ces galandages doivent être lutés avec de l'argile. Dans certains cas on fait ces cloisons en briques.

Les *barrages*, qui ferment des quartiers abandonnés, doivent être construits solidement en maçonnerie ou en argile pilonée.

Les *canars*, qui servent à conduire l'air aux extrémités de galeries en cul-de-sac, sont des gros tuyaux en tôle ou en zinc, quelquefois en carton bitumé, assemblés par emboîtement et lutés avec du suif; leur diamètre varie de 20 à 30 centimètres, on les pose à terre ou au plafond, dans les angles des galeries. On emploie aussi des caisses en bois carrées à emboîtement; le côté de leur

section atteint parfois $0^m,60$, et leur longueur est de 3 mètres. On barre par une porte la galerie d'arrivée et on y encastre le canar dans lequel le mouvement de l'air se produit par suite de la dépression. On peut aussi recourir à un ventilateur à bras.

Circulation ascensionnelle. — Il faut, en général, toujours faire arriver le courant d'air au pied du puits le plus profond et le distribuer ensuite toujours en montant. L'air tend à s'échauffer et, par suite, se dilate; il se charge de vapeur d'eau et de grisou si la mine en dégage. Il a donc une tendance à monter, dont il est bon de faire un auxiliaire pour l'aérage. Il ne faut, en aucun cas, que l'air, après être passé sur un point grisouteux, ait à redescendre, car le grisou resterait en cloche.

Il y aussi grand intérêt à fractionner le courant en plusieurs directions à partir du puits d'entrée. La théorie montre que la dépression nécessaire sera 8, 27, 64 fois moindre, si l'on fractionne le courant en 2, 3, 4 courants partiels. Dans la couche Hutton, à Eppleton, on a subdivisé le courant d'air en neuf dérivations : comme exemple inverse, nous citerons, à Ryhope, un courant d'air de 9 kilomètres de développement.

La section offerte au courant d'air devrait aller en croissant légèrement de l'entrée à la sortie, afin de maintenir constante la vitesse du courant d'air. Cependant on emploie parfois des retours d'air ridiculement étroits.

En Angleterre, on constate dans certains retours d'air des vitesses de 3 à 4 mètres et même de 6 mètres; c'est là une grave imprudence.

Il faut, autant que possible, supprimer les anfractuosités dans lesquelles le grisou tendrait à s'accumuler; les boisages des galeries présentent des rentrants dangereux, car ils constituent des nids à grisou; le soutènement en fer diminue cet inconvénient, qui est supprimé par l'emploi d'une maçonnerie lisse.

M. Murgue conseille de placer de préférence les puits d'entrée et de sortie aux deux points les plus éloignés du réseau intérieur. Cependant on emploie souvent, contrairement à cette indication,

deux puits jumeaux, ou même deux compartiments d'un puits unique.

Dans les mines à grisou, il faut éviter la production accidentelle de cloches, et les combler en tout cas sans retard.

Les vieux travaux sont souvent des réservoirs de grisou : aussi faut-il que ces parties abandonnées soient en amont-pendage des quartiers en exploitation. Le remblayage de ces travaux abandonnés doit être fait avec grand soin. Certains ingénieurs ont recommandé de drainer les vieux travaux par des purges systématiques, pour en extraire le mauvais air.

Si l'impossibilité de combattre l'afflux de grisou, oblige à abandonner une galerie, il faut ne le faire qu'après avoir établi des barrages étanches.

AÉRAGE SANS MACHINE

Aérage naturel. — On peut, dans certains cas, produire une ventilation naturelle par la seule configuration des travaux et par la disposition des points de communication de la mine avec le jour.

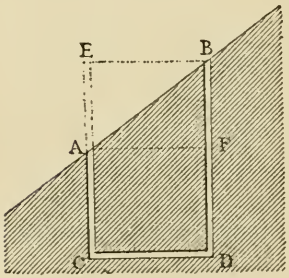


Fig. 75. — Aérage naturel.

Supposons deux puits AC, BD, dont les orifices soient à des niveaux différents, et complétons par la pensée le circuit BDCE. Admettons que l'air de FD soit aussi lourd que celui de AC. L'air BF sera plus froid et, par conséquent, plus lourd en été que l'air EA, et il en résultera un courant de B en A par DC. En hiver, ce sera l'inverse. Dans les saisons intermédiaires, il se produira des stagnations extrêmement dangereuses. L'aérage naturel ne peut donc être suffisant, et, partout où on lui a substitué un aérage artificiel, les accidents ont diminué.

Cheminées. — On a essayé cependant de conserver l'aérage naturel, en l'activant au moyen de cheminées d'aérage.

A cet effet, on surmonte le puits le plus élevé d'une cheminée d'aérage qui en élève l'orifice, souvent à des hauteurs importantes. Mais ce procédé est cher, et le puits ne peut plus servir que pour la ventilation.

Si nous avons dit cependant quelques mots de ce mode d'aérage, c'est qu'on le trouve encore appliqué, même dans les puits d'extraction ; dans ce cas, le puits est divisé en deux compartiments inégaux, le plus grand réservé à l'extraction, le plus petit surmonté d'une cheminée d'aérage.

Foyers d'aérage. — Un foyer placé à la base d'un puits échauffe et allège l'air de ce puits, et produit un appel de l'air des autres parties de la mine.

Cette solution très ancienne est surtout pratique dans les mines de houille, qui ont à leur disposition du charbon à bon marché.

On a fait longtemps usage du toque-feu, corbeillle métallique remplie de charbons, suspendue au fond du puits à une corde qu'on manœuvrait à l'aide d'un treuil ; on y a à peu près renoncé, car le toque-feu gène le service du puits, et on est souvent obligé de le remonter au jour pour l'alimenter.

Habituellement, les foyers d'aérage consistent en une grille horizontale placée près du fond du puits, dans le rocher, et éloignée du boisage.

On environne la grille d'une maçonnerie et même de deux muraillements, entre lesquels on fait passer, comme réfrigérant, l'air de la mine. Ces appareils, répandus en Angleterre, ne se dérangent pas et, même en cas d'avarie, la chaleur emmagasinée suffit à empêcher un arrêt brusque dans la ventilation ; ils n'empêchent pas, à condition que la température soit modérée, le service de l'extraction, bien entendu en employant des câbles, des cages et des guidonnages entièrement métalliques ; on ne doit pas réserver les puits ainsi aérés pour l'épuisement, car l'épuisement refroidit

beaucoup les puits. Malheureusement, l'humidité de la mine rend souvent difficile le tirage de ces foyers, qui ont de plus l'inconvénient de produire des incendies, et, en cas d'accident dans la mine, d'être trop éloignés du jour pour permettre de rétablir commodément la ventilation; ils sont d'un grand danger dans les mines grisouteuses, à moins de n'être alimentés qu'avec de l'air pur. Quoi qu'il en soit, ces foyers d'aérage peuvent rendre des services incontestables : nous signalerons en Angleterre, à Hetton, des foyers à quatre grilles, qui débitent 115 mètres cubes par seconde, et, à Seaham, 150 mètres cubes.

La théorie et l'expérience montrent que le débit d'un foyer d'aérage serait maximum, si la température du puits de sortie d'air présentait, par rapport à celle du puits d'entrée, un excédent de 300 à 400°.

On peut encore chauffer l'air d'un puits en y injectant de la vapeur par un appareil Kœrting. Cette solution peut rendre de grands services dans un sauvetage.

Emploi de l'air comprimé. — L'air comprimé est un puissant moyen de ventilation dans les mines munies de compresseurs. En ouvrant un robinet à l'extrémité de la conduite, on produit une ventilation directe. Ce procédé n'est évidemment pas économique[1], mais il peut rendre de grands services dans le cas où l'on veut se porter au front de taille d'une galerie en percement, aussitôt après le sautage des coups de mine. En ouvrant le robinet de la conduite pendant deux ou trois minutes, les fumées sont tout de suite dissipées, et le travail peut continuer sans interruption; mais ce procédé ne saurait offrir une véritable sécurité pour un aérage régulier, car le mélange de l'air comprimé avec l'atmosphère de la mine est imparfait.

Les injecteurs Kœrting a air comprimé sont assez répandus pour aérer des chantiers en cul-de-sac et les travers-bancs en voie d'exécution, mais M. Mathet conseille de les remplacer par des

1. Mathet, *l'Air comprimé aux mines de Blanzy.*

ventilateurs portatifs à force centrifuge, mus par l'air comprimé, plus économiques et moins bruyants.

Manches à vent et arrosage. — Nous citerons pour mémoire l'emploi des manches à vent, analogues à celles qui servent à ventiler les soutes de navires, mais généralement insuffisantes dans les mines, et celui des chutes d'eau en forme de pluie régulière dans un puits d'entrée d'air : cette pluie ne peut rendre de réels services qu'en cas de sauvetage.

VENTILATEURS

Les ventilateurs, qu'il nous reste à étudier, constituent la seule solution pratique de l'important problème de l'aérage des mines.

Le ventilateur de mine doit être établi près de l'orifice d'un puits ou au débouché d'une galerie. La fermeture doit en être disposée de manière à ne laisser de communication de l'intérieur avec l'extérieur que par le mécanisme lui-même. Afin de mettre l'appareil à l'abri d'un coup de feu, on préfère le placer à quelques mètres de l'orifice; de cette façon, la fermeture seule, que l'on a soin de rendre légère, est emportée, sans préjudice grave pour la machine. Lorsque le puits d'extraction sert de voie d'aérage, la fermeture est enlevée par la cage ascendante et remplacée par son plancher; dans le cas contraire, on produit souvent l'obturation du puits d'aérage par une cloche métallique, baignant dans l'eau et équilibrée par des poids suspendus à des chaînes passant sur des poulies.

Les ventilateurs peuvent être classés en ventilateurs *aspirants* ou *soufflants*.

Les ventilateurs soufflants exigent théoriquement un peu moins de travail que les aspirants, en ayant de plus l'avantage de combattre les soufflards et les fumées des incendies. De plus, les ventilateurs soufflants sont moins exposés aux explosions que les ventilateurs aspirants.

Cependant, par suite de la considération suivante, on emploie

de préférence habituellement des ventilateurs aspirants. Pour que la circulation fût ascensionnelle on devrait, avec un ventilateur soufflant, envoyer l'air à l'extrémité inférieure du puits le plus profond, c'est-à-dire du puits d'extraction, dont il vaut mieux laisser libre l'orifice.

Dans les mines grisouteuses, le ventilateur ne doit jamais s'arrêter, à quelque moment que ce soit.

En dehors des ventilateurs mécaniques, on emploie des appareils à bras, destinés plutôt à l'usage des culs-de-sac, et dont le fonctionnement doit être l'objet d'une grande attention. En général, ces ventilateurs à bras sont des appareils soufflants, qui pourchassent mieux le grisou ; on a cependant imaginé un appareil à bras aspirant, l'anti-grisou Favet, d'une bonne construction et d'un ingénieux fonctionnement.

On peut aussi classer les ventilateurs, d'après M. Murgue, en *volumogènes* et *déprimogènes*. Ainsi que l'expose M. Haton de la Goupillière, en considérant, par exemple, les ventilateurs aspirants :

« Dans les *volumogènes*, une série de cloisons mobiles vient découper l'atmosphère de la mine en tranches qu'elles emprisonnent dans les compartiments compris entre elles et un coursier fixe ; puis elles les poussent le long de ce coursier et finissent par les rejeter au dehors. Le vide que chaque tranche laisse derrière elle se trouve naturellement comblé par l'air adjacent, et celui-ci, à son tour, est remplacé de proche en proche aux dépens de l'atmosphère extérieure, qui est ainsi appelée à s'engouffrer dans le puits d'entrée.

« Au contraire, dans les ventilateurs *déprimogènes*, la communication peut rester continue et géométriquement libre, entre la mine et l'extérieur ; mais le milieu gazeux est troublé dans son équilibre par les mouvements du mécanisme qui ont pour résultat de le brasser énergiquement. »

Les volumogènes sont aujourd'hui généralement délaissés au profit des déprimogènes à force centrifuge ou à impulsion oblique.

Ventilateurs volumogènes. — Comme exemple, nous indiquerons le *ventilateur Fabry*, qui est une pompe pneumatique rotatoire. Il se compose (fig. 76) de deux roues identiques, réunies par des engrenages égaux tournant en sens contraire avec des

vitesses égales. Chaque roue entraîne trois rayons, assemblés sous des angles de 120° et présentant une potence portant deux cames curvilignes ; celles-ci sont disposées de manière à rester en contact pendant le roulement des cercles primitifs. Les roues exécutent une partie de leur rotation à l'intérieur de coursiers concentriques en maçonnerie. Théoriquement, ce ventilateur débite un

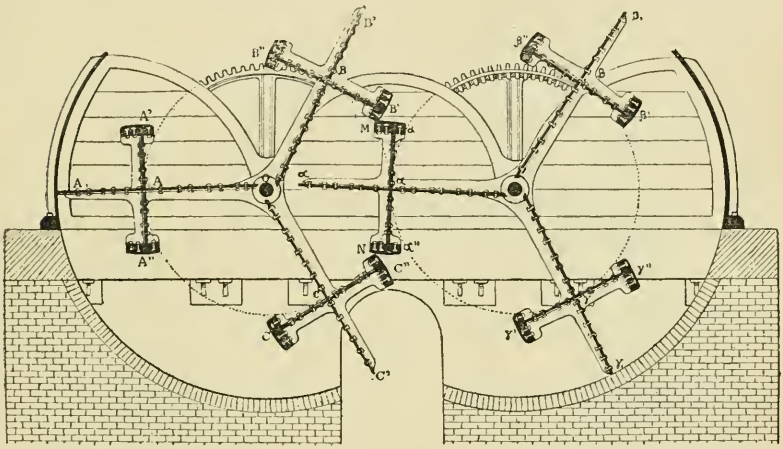


Fig. 76. — Ventilateur Fabry.

volume d'air sensiblement égal au double de celui décrit par la partie d'une aile qui est extérieure à la potence[1].

Le diamètre de chaque roue est de $3^m,50$; la vitesse par seconde est de 20 à 30 tours ; le débit par seconde est de 12 à 15 mètres cubes, la dépression de 20 à 40 millimètres d'eau seulement ; le rendement de 40 0/0.

Les cloches hydrauliques, telles par exemple que le ventilateur *Struvé*, consistent en un gazomètre plongeant dans l'eau, qui constitue sans frottement une fermeture étanche. Par son ascension et sa descente, la cloche détermine le jeu des clapets. Dans la *vis*

1. M. Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation des mines*, t. II, p. 447.

hydro-pneumatique Guibal (fig. 77), la fermeture se fait également au moyen d'un bain liquide, mais sur une partie seulement de la circonférence.

Ventilateurs à force centrifuge. — Ces ventilateurs consistent en une roue cylindrique à palettes, tournant autour d'un axe parallèle à ses palettes. Celles-ci agissent sur les molécules d'air en leur imprimant un mouvement excentrique créant, dans la partie centrale, un vide que comble l'air de la mine et, sur le pourtour, un excès de pression qui s'échappe dans l'atmosphère extérieure.

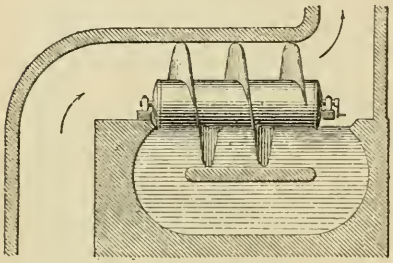


Fig. 77.
Vis hydro-pneumatique Guibal.

On augmente la puissance de dépression, en disposant plusieurs appareils analogues en série, et en les faisant tirer l'un sur l'autre, l'ouïe de chaque ventilateur communiquant avec le débouché du précédent.

Les premières roues autrefois construites étaient à aubes planes. Combes a employé des ailes courbes se raccordant presque tangentiellement à la conférence extérieure, comme dans les turbines hydrauliques.

M. Letoret a enfermé le ventilateur dans une enveloppe cylindrique comportant un seul orifice d'évacuation.

M. Guibal a adapté à l'orifice d'évacuation un appareil appelé trompe ou cheminée, qui a pour effet de réduire la force vive emportée par l'air à sa sortie de l'appareil, sans nécessiter l'emploi d'ailes courbes; aussi les palettes du ventilateur Guibal (fig. 78) sont-elles planes, sauf une petite partie courbe de raccordement à l'entrée pour opérer sans choc l'entrée de l'air. Signalons un autre perfectionnement dû à M. Guibal, et consistant en une vanne régulatrice, disposée à l'insertion de la cheminée sur l'enveloppe et qui permet de faire varier à volonté le débouché.

Le diamètre de cet appareil varie de 2 à 15 mètres, sa lar-

geur de 1 à 4 mètres. La vitesse est de 100 tours par minute pour les grands appareils, et de 200 pour les petits. Le débit varie en général de 30 à 100 mètres cubes par seconde.

Il existe d'innombrables appareils analogues. Le ventilateur

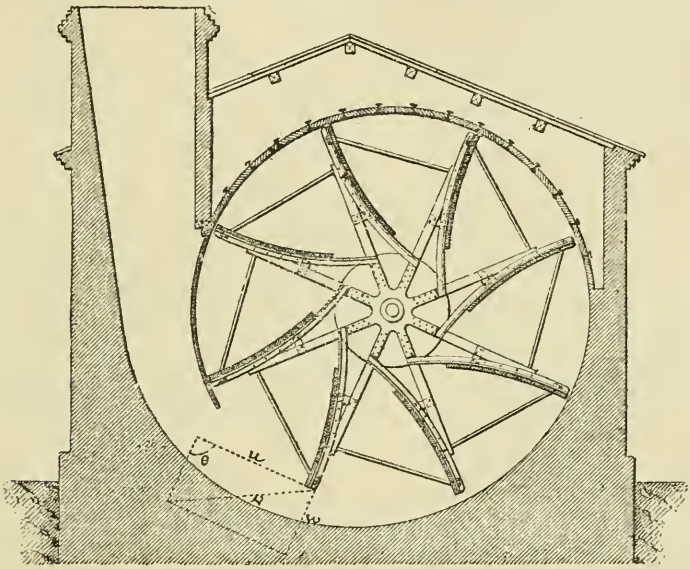


Fig. 78. — Ventilateur Guibal.

Capell (*double power fan*) (fig. 79 et 80) a un débit de 10 à 130 mètres cubes par seconde.

M. Rateau, ingénieur des mines, vient de faire breveter un ventilateur à force centrifuge comprenant : 1° une trentaine d'ailettes décrites par un arc de cercle dont le plan reste normal à l'axe; 2° un diffuseur composé d'une partie plate en spirale, et d'une volute spiraloïde à section croissante, à la suite de laquelle se trouve la base conique. Un appareil de ce genre, placé au puits des Estacades, à Cransac, et essayé le 26 juin 1890, a donné les meilleurs résultats.

Ventilateurs à impulsion oblique. — Si, dans le ventilateur centrifuge, les palettes au lieu d'être disposées dans des plans méridiens sont obliques, et par exemple en forme d'hélicoïdes, la force centrifuge se décompose en deux autres : l'une, dirigée suivant la palette, produira des effets analogues aux précédents; l'autre, parallèle à l'axe de rotation, déterminera un mouvement longitudinal de l'air.

M. Ser a donné une théorie complète de ces appareils, et en a créé un qui est très estimé. Il peut être à volonté aspirant ou souf-

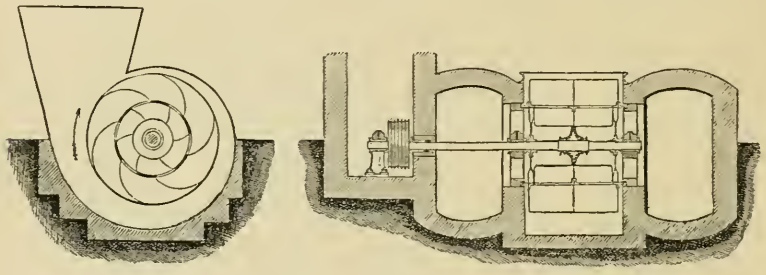


Fig. 79 et 80. — Ventilateur Capell.

flant. Il est compris dans une enveloppe en volute, et ses ailes ont une inclinaison de 45° en avant. Ce ventilateur est excellent, même dans le cas des mines étroites.

MM. Geneste, Herscher et Cie ont exposé en 1889 un ventilateur Ser, à propos duquel le Congrès des mines et de la métallurgie a fait les constatations suivantes :

« Le ventilateur fonctionnant en ventilateur aspirant, l'orifice du puits est fermé par deux planchers étagés formant sas à air. En dessous du deuxième plancher se trouve une galerie horizontale, qui se retourne bientôt verticalement en formant deux conduits séparés par un mur en maçonnerie, et aboutissant à deux chambres métalliques qui communiquent avec les ouïes du ventilateur. L'air aspiré par le centre est refoulé sur toute la circonférence dans une chambre excentrée, et s'échappe dans une conduite de refoulement communiquant avec l'atmosphère.

« De même que la cheminée Guibal, cette conduite est à section croissante, de manière à regagner la plus grande partie de la force vive empor-

tée par l'air, ce qui permet à la fois un grand débit et un grand rendement avec un petit appareil.

« Ce ventilateur de 2 mètres de diamètre a donné aux expériences un débit de $28^{m3},31$ par seconde à une dépression de 98 millimètres d'eau, avec un rendement dynamique de 0,828, à 240 tours à la minute. »

L'emploi de petits ventilateurs Ser, mus par l'air comprimé et fournissant environ 2 mètres cubes par seconde, est très vivement et très judicieusement recommandé par M. Mathet, pour l'aérage des chantiers en traçage.

La maison Sautter et Lemonnier a exposé, en 1889, un petit ventilateur à ailes courbes, actionné par une machine dynamo réceptrice à deux pôles et à en roulement Gramme.

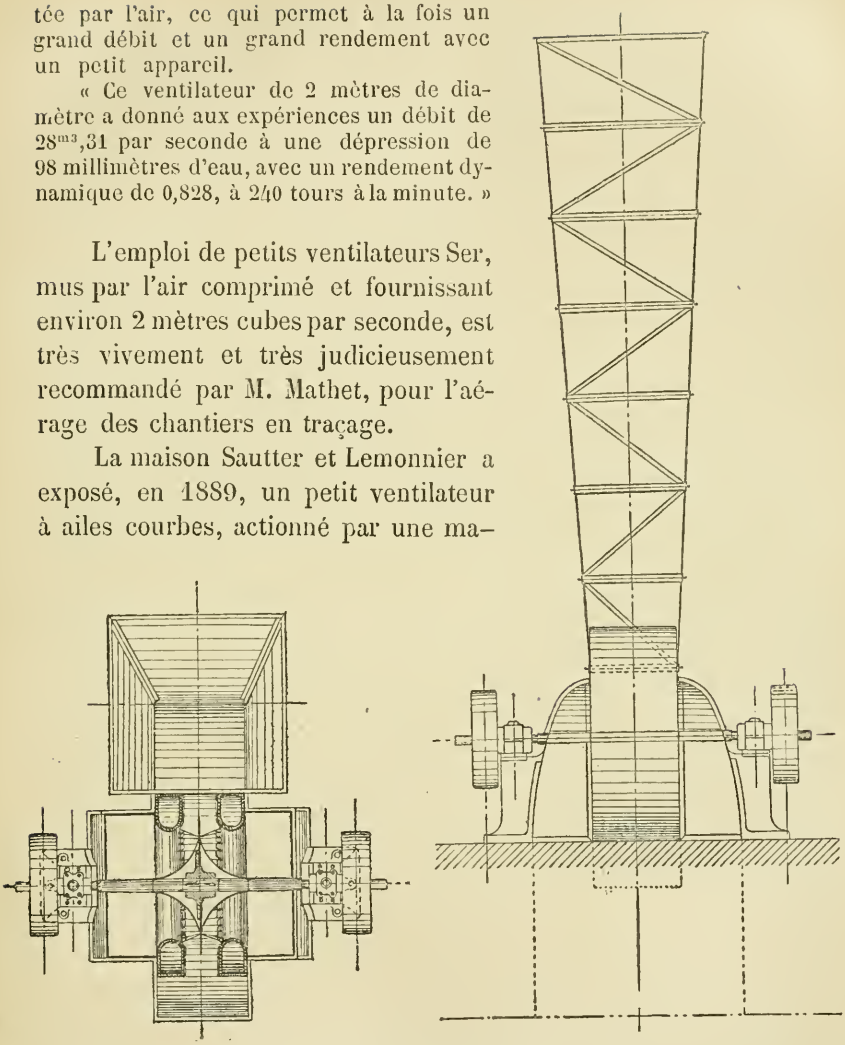


Fig. 81. — Ventilateur Ser. (Plan et élévation.)

CHAPITRE X

L'OUVRIER MINEUR

MONOGRAPHIE DU MINEUR

La question ouvrière a été exposée, avec une grande compétence, au point de vue des mines, par M. Ch. Ledoux, ingénieur en chef des mines, dans deux conférences faites, le 7 et le 14 février 1890, à l'École libre des sciences politiques. Nous engageons vivement nos lecteurs à en prendre connaissance.

Travail. — Habituellement, le travail est partagé chaque jour entre trois groupes inégaux d'ouvriers : le poste de jour, la coupe à charbon ou à minerai, extrait la matière utile ; — le poste de nuit, la coupe à terre, la remplace par du remblai ; — le poste de raccommodeurs fait aux voies les réparations nécessaires. Les heures de changements de poste sont environ les suivantes : cinq heures du matin, deux heures du soir et dix heures du soir. Il en résulte que chaque ouvrier mineur voit chaque jour pendant un temps plus ou moins long la lumière du soleil. La durée moyenne de la journée du mineur français, comprend :

	Intérieur.	Extérieur.
Travail effectif.	$8^h 13^m$	$9^h 39^m$
Présence sans travail.	$1^h 32^m$	$1^h 07^m$

En rentrant chez lui, il commence par se laver tout le corps à grand renfort de seaux d'eau. La poussière, qui le salit dans la fosse, lui donne un amour de la propreté que devraient bien partager nos paysans. Il cultive ensuite son jardinet, ou bien il se

repose sur le pas de sa porte, assis sur ses talons, dans une position que l'habitude seule arrive à lui faire trouver commode. Naturellement aussi, il fréquente le cabaret... Les cabarets sont très nombreux auprès des mines, et quand ils sont délaissés par les ouvriers, devenus subitement économes, les patrons doivent redouter l'explosion prochaine d'une grève.

Les mineurs se groupent en syndicats, qui défendent leurs intérêts vis-à-vis des patrons. Une grève, survenue en novembre et décembre 1891 dans le bassin houiller de Valenciennes, a pris heureusement fin par une entente cordiale entre les arbitres nommés par le syndicat des ouvriers et les arbitres nommés par le comité des houillères, sans intervention des tiers arbitres nommés par le gouvernement. Elle vient d'être l'objet d'un opuscule intéressant et très suggestif, sinon tout à fait impartial, de M. Ed. Lozé.

Les grèves des ouvriers mineurs s'accompagnent souvent de désordres inqualifiables, sur lesquels nous demandons la permission de jeter un voile. Certains auteurs ont d'ailleurs décrit, avec plus de vérité que de prudence, ces crises où se rue la fureur populaire.

Alors même qu'une grève ne s'accompagne d'aucun forfait, elle est toujours un événement fâcheux : quel courage n'exige-t-elle pas des ouvriers qui supportent la suspension de leurs salaires pendant la durée du chômage volontaire, et quels désastres financiers ne cause-t-elle pas aux exploitants, même si le courant commercial détourné reprend ensuite son cours habituel?

Tant que la mine, l'usine, la terre n'appartiendront pas, au moins en partie, aux hommes qui les exploitent, il y aura une rivalité fatale entre le capital qui possède et le bras qui travaille. Contre les grèves des mineurs, le meilleur moyen préventif nous paraît être le suivant : morceler le capital social en parts minuscules, conseiller paternellement aux ouvriers de les acquérir, associer ainsi d'une façon intime le travail et le capital, et réaliser partiellement, sans violation des droits acquis, l'idéal de *la mine aux mineurs*.

Les mineurs de Monthieux (Loire) ont la bonne fortune de posséder intégralement la mine qu'ils exploitent. Nous leur souhaitons bon courage et pleine réussite.

Le travail des mines est particulièrement dangereux, comme nous l'exposerons tout à l'heure. Il en résulte — et ceci n'est pas un paradoxe — que le mineur aime son métier comme le matelot, comme le charpentier, nous dirions presque comme le soldat. Il règne dans cette corporation une touchante solidarité. Jamais l'un d'eux ne recule devant un travail pénible ou dangereux pour sauver un camarade en péril. Les *bergleùte* (gens de mine : ouvriers ou ingénieurs) ne se saluent pas autrement dans les mines allemandes que par ce cordial souhait : *Glück aùf !* (Heureux retour là-haut).

L'abattage du minerai, la pose des bois de soutènement, les fonctions de receveur, etc., nécessitent des connaissances techniques spéciales, un tact particulier, beaucoup d'adresse manuelle. On n'obtient guère de bons mineurs qu'avec des fils de mineurs, descendus jeunes dans la fosse et soumis à un long apprentissage. Nous nous souvenons qu'un jour un mineur à qui une personne étrangère demandait depuis combien de temps il était ouvrier, lui fit cette réponse typique : « *J'ai jamais été ouvrier, j'ai été herscheur cinq ans, et en v'là douze que j'tape à l'veine.* » (Je n'ai jamais été un vulgaire ouvrier de manufacture ou d'usine, j'ai roulé le charbon pendant cinq ans, et en voilà douze que je l'abats.)

Ainsi qu'on l'a dit au congrès de Berlin, sur lequel nous reviendrons tout à l'heure, « le labeur minier, en imprégnant la jeune fille d'une rudesse presque masculine, la prépare mal à son futur rôle d'épouse et de mère ». D'autre part, « l'emploi simultané des femmes et des hommes dans les travaux souterrains n'est pas sans présenter de sérieux inconvénients moraux ».

En France, depuis la loi du 19 mai 1874, les femmes et les filles ne peuvent travailler dans les mines qu'aux travaux du jour. N'en déplaise aux romanciers, on ne voit plus une seule femme dans les travaux souterrains de France.

Depuis le 1er janvier 1892, aucune fille ou femme, âgée de moins de 21 ans, ne peut non plus descendre dans les mines de Belgique, à moins qu'elle n'y soit jusque-là descendue.

Les enfants de moins de 12 ans ne peuvent pas pénétrer dans les mines.

Le travail des jeunes garçons de 12 à 16 ans dans l'intérieur des mines ne peut pas avoir lieu entre 9 heures du soir et 5 heures

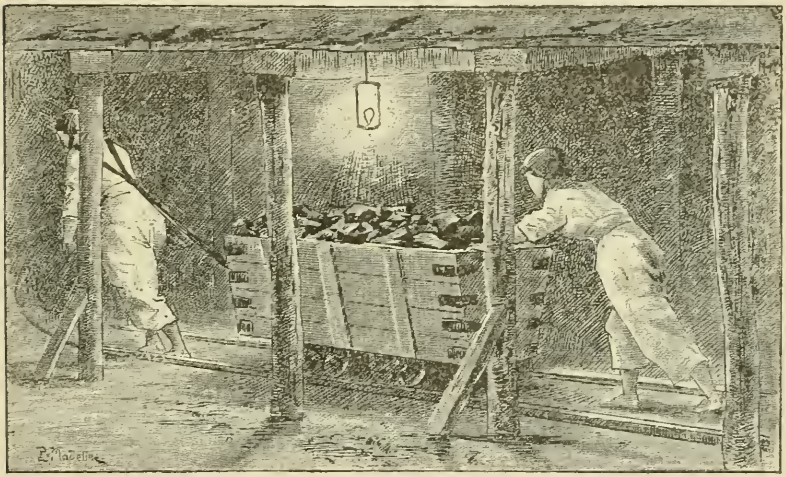


Fig. 82. — Transport souterrain du charbon par des femmes (mines de Charleroi, Belgique).

du matin. Le règlement du 22 mai 1875 le soumet, en outre, aux règles suivantes : sa durée ne doit pas excéder 8 heures coupées par un repos d'une heure; ils ne peuvent être employés qu'au triage et au chargement du minerai, à la manœuvre et au roulage des wagonnets, à la garde et à la manœuvre des portes d'aérage, à la manœuvre des ventilateurs à bras et autres travaux n'excédant pas leurs forces; s'ils font tourner des ventilateurs à bras, ils ne doivent le faire que pendant 4 heures coupées par un repos d'une demi-heure. Ces enfants font dans la mine un apprentissage néces-

saire à leur carrière ultérieure et ils y gagnent de quoi augmenter le bien-être de leur famille.

Salaires. — Les mineurs sont généralement payés à la tâche, à un prix fait par wagon de matière sortie suffisamment propre et pesant un poids minimum déterminé.

En 1890, les salaires moyens journaliers des ouvriers employés dans les mines de combustible de France ont été les suivants, non compris les bonis accessoires évalués en moyenne à 0 fr. 35 :

	Intérieur.	Extérieur.
Piqueurs	5,04	
Ouvriers d'état	4,41	
Manœuvres	3,58	3,21
Femmes		1,61
Enfants	1,91	1,44

En 1883, la famille F..., comprenant comme travailleurs le père et trois fils, a touché de la Compagnie des mines de Liévin (Pas-de-Calais) 7397 fr. 02. Chacun sait d'ailleurs que, depuis cette époque, les salaires des mineurs ont été, plusieurs fois, notablement accrus.

M. Lallemand, ingénieur en chef des mines, a imaginé un très ingénieux système, dans l'emploi duquel ouvriers et patrons trouvent simultanément leur compte. Il emploie la formule $S = a + \frac{bT^2}{2}$. a rémunère l'ouvrier de sa seule présence; si l'ouvrier qui a fait un travail T, auquel est proportionnelle sa fatigue, accomplit un travail supplémentaire dT, il perçoit un travail supplémentaire $bT\,dT$. Si on appelle F les frais généraux et n le nombre des ouvriers, le prix de revient de l'unité de travail est $P = \frac{\frac{F}{n} + S}{T}$. En donnant à a et à b des valeurs convenables, on peut faire en sorte que $\frac{dP}{dT} = \frac{b}{2} - \frac{\frac{F}{n} + a}{T^2}$ soit négatif pour les valeurs habituelles de T, et

que par conséquent, quand T croît, P décroisse en même temps que S croît[1].

Il serait désirable que ce mode de salaire se généralisât dans les mines.

Les mineurs célèbrent le 4 décembre la fête de leur patronne, sainte Barbe. Avant la grève de 1889, qui a supprimé les longues

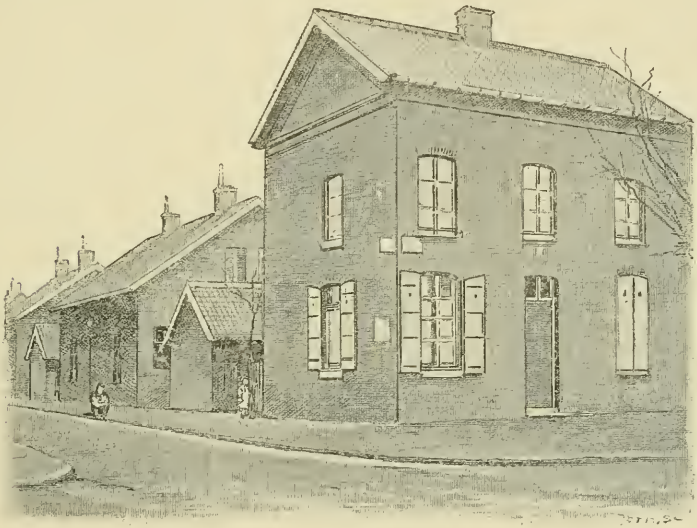


Fig. 83. — Corons de Lens.

coupes, ils travaillaient habituellement pendant la quinzaine qui précédait ces jours de repos et de festoiement, avec un acharnement tel, que leur salaire se doublait.

1. On peut aussi tenir compte de la *qualité* du travail en remplaçant les constantes a et b par des variables de la forme $\alpha + \frac{\beta}{2} Q^2$, $\alpha - \frac{\beta}{2} Q^2$, $\alpha - \frac{\beta}{2} (Q - Q_0)^2$, selon que le coefficient Q doit être autant que possible grand, petit ou voisin de Q_0.

Les calculs se font graphiquement à l'aide d'abaques, et l'ouvrier se rend facilement compte du supplément de salaire qu'il aurait pu obtenir s'il avait travaillé plus ou mieux.

M. Lallemand paye les porte-mire, employés au nivellement de la France, selon

La plupart des Compagnies donnent à leurs ouvriers une maison confortable à très bas prix, le chauffage gratuit, et tous les objets de consommation au prix de revient.

La figure 83 est prise dans les corons de Lens. On voit au premier plan une maison de porion et, dans la rue, des maisons ouvrières isolées, louées 6 francs par mois (trois pièces en bas, deux en haut, trois ares de jardin et un cabinet). Un homme est accroupi devant sa maison, dans la position du mineur au repos.

Comme exemple, nous allons donner quelques détails relatifs à la Compagnie des mines d'Anzin en 1888 :

Nombre d'ouvriers du fond ou du carreau des fosses . .	9632
Salaire moyen	1 119 francs
Nombre d'ouvriers du jour	1892
Salaire moyen	1 097 francs
Retenue faite aux ouvriers pour la caisse des retraites, 1 1/2 0/0, soit.	192 778 francs
Dividendes distribués.	3 312 000 francs
Libéralités de la Compagnie.	1 567 757 fr. 22

Savoir :

Pensions de secours	739 481f 25
Charbon distribué	359 130 00
Perte sur loyers.	220 752 00
Service de santé.	198 709 27
Frais d'instruction.	31 875 45
Allocation aux familles des réservistes. . .	8 497 50
Secours à l'occasion de la première communion	5 280 00
Perte d'intérêts sur les avances de fonds pour acheter et bâtir, et perte sur les maisons vendues aux ouvriers	3 048 95
Prix des premiers vêtements de travail. . .	982 80

la quantité T de kilomètres nivelés par jour ouvrable, et selon le nombre Q de nivelées par jour ouvrable. Quand Q croît, T restant constant, les nivelées se raccourcissent, la fatigue des opérateurs augmente et, en même temps, la précision du nivellement.

Grâce à l'emploi de cette méthode, il a pu obtenir les améliorations suivantes pour :

	1885.	1889.
Salaire journalier des porte-mire	7 francs	12 francs
Prix de revient du kilomètre.	39 —	31 —
Longueur moyenne d'une nivelée	160 mètres	130 mètres

Nombre des hectares loués à prix réduit pour la culture.	205
Nombre des maisons construites ou achetées par la Compagnie, valant 3000 à 3500 francs, pour loger les ouvriers près des fosses, à raison de 4 à 6 francs par mois.	2628
Nombre des maisons vendues aux ouvriers au prix de revient	93
Nombre des maisons construites ou acquises par les ouvriers, au moyen des avances de la Compagnie. .	740

Une Caisse d'épargne et de prévoyance a été créée par la Compagnie en 1869 ; les dépôts ont atteint près de 2 millions en 1877, mais ont diminué depuis lors, par suite de la création de la Caisse postale de l'État.

Une société coopérative de consommation, dite « des mineurs d'Anzin », a été fondée en 1865, sous le patronage de la Compagnie ; elle est aujourd'hui tout à fait indépendante et a pris un remarquable développement. 6544 ouvriers du fond font partie de sociétés de secours mutuels indépendantes de la Compagnie et versent 0 fr. 50 par quinzaine.

Mœurs. — Ce résumé démontre que, contrairement à ce que l'on croit généralement, l'ouvrier mineur est relativement aisé. Il est cependant extrêmement rare qu'il économise : habituellement il a dépensé l'argent de chaque quinzaine avant de le toucher. Il ne se refuse rien. A-t-on vraiment le droit de le reprocher sévèrement à un homme dont la vie se passe au milieu de tels dangers?

Un ingénieur qui a publié sous le voile de l'anonyme, dans *la Nature* du 25 octobre 1890, une très bonne étude sur l'ouvrier des mines de Lens, la termine par cette réponse naïve et typique, surtout en patois, d'un vieux mineur qui avouait avoir gagné jadis beaucoup d'argent, et à qui il demandait pourquoi il n'en avait pas un peu économisé : « Ch'est q'tint plus que j'gaignos, tint plus que j'dépinsos. »

Les mineurs ont des familles très nombreuses, dont tous les membres, mais surtout les garçons, arrivent assez jeunes à gagner leur vie. Un mineur à qui l'un de nous demandait un jour combien

il avait d'enfants, lui répondit modestement : « Je n'ai que trois garçons, et puis cinq filles. » C'est dans les *corons* (habitations ouvrières des mineurs) que le précepte de l'Écriture : *Crescite et multiplicamini!* est le mieux observé. Quoi qu'en dise Malthus, nous en félicitons les mineurs ; ils augmentent ainsi le nombre des travailleurs.

Ces enfants sont habituellement chéris et gâtés prodigieusement par leurs parents. Les ingénieurs de l'État sont souvent stupéfaits de la candeur avec laquelle mentent les jeunes ouvriers de douze à seize ans qu'ils ont à interroger dans leurs enquêtes.

Fréquemment, un mineur célibataire habite, sous le nom de *logeur,* chez un mineur marié, appartenant généralement à une autre coupe. Cette coutume présente d'évidents inconvénients moraux.

Les femmes des mineurs passent une grande partie de leur temps à voisiner, à bavarder et à boire un liquide improprement appelé « café ». Il en est qui prennent des domestiques pour se soulager d'une partie des soins du ménage, et pour augmenter leurs loisirs.

Le directeur de la mine « doit à ses ouvriers de veiller personnellement à leur sécurité, au même titre qu'il doit à ses actionnaires de soigner le prix de revient [1] ». Les ouvriers croient même habituellement qu'il les force à prendre une foule de précautions inutiles; ils ne veulent pas admettre que les règlements sont faits principalement dans leur intérêt; ils commettent journellement des imprudences; quand un accident est survenu, et que l'ingénieur de l'État interroge un ouvrier sur les causes, il est bien rare que celui-ci incrimine une imprudence de ses camarades ou même de ses chefs.

Il faut dire, à la louange du mineur, qu'il supporte volontiers la sévérité de ses chefs, pourvu qu'elle soit accompagnée d'une extrême justice et d'une bravoure indiscutée.

Nous croyons avoir établi dans les quelques pages précé-

1. Le Châtelier, *Revue générales des sciences pures et appliquées,* 30 octobre 1890.

dentes qu'en France, au moins, l'exploitant ne se considère pas comme quitte envers ses collaborateurs quand il leur a payé la quinzaine. La sympathie de toutes les personnes qui s'intéressent à l'industrie nationale leur est pleinement acquise : comme le disait M. Haton de la Goupillière, le 13 juin 1890, « elles unissent dans une même sollicitude la pensée qui dirige et le bras qui exécute ». N'est-ce pas là de la vraie fraternité?

Coup d'œil rétrospectif. — Telle est la situation actuelle du mineur; les lecteurs curieux de connaître ce qu'elle était jadis trouveront dans le récent ouvrage de M. Siméon Luce, *la France pendant la guerre de Cent ans*, des renseignements curieux et détaillés sur la condition matérielle et morale des mineurs du Lyonnais et du Beaujolais, en 1455, lors de la confiscation des biens de Jacques Cœur. Déjà, à cette époque éloignée de nous de plus de quatre siècles, les mineurs n'étaient en aucune façon traités comme des parias. « Au point de vue de leur bien-être, pris dans le sens le plus élevé et le plus large, ils n'avaient, conclut même l'auteur, rien à envier à ceux de l'époque actuelle ». Il est cependant incontestable qu'au double point de vue des conditions techniques et de la sécurité du travail, une révolution totale s'est accomplie depuis lors.

CONFÉRENCE DE BERLIN

Du 15 au 29 mars 1890, il s'est tenu à Berlin, sous la présidence de M. de Berlepsch, ministre du commerce et de l'industrie, une *conférence internationale concernant le règlement du travail dans les établissements industriels et dans les mines.*

La Commission des mines, présidée par M. Hauchecorne. directeur de l'académie des mines de Berlin, a formulé, sous le bénéfice de quelques réserves faites par certains délégués, et la Conférence a adopté les réponses suivantes aux trois questions posées à la Commission :

1° *Le travail sous terre doit-il être défendu aux enfants au-dessous d'un certain âge?*

Il est désirable que la limite inférieure de l'âge auquel les enfants peuvent être admis aux travaux souterrains dans les mines soit progressivement élevée, à mesure que l'expérience en aura prouvé la possibilité, à quatorze ans révolus; toutefois, pour les pays méridionaux, cette limite serait celle de douze ans.

Et aux personnes du sexe féminin?

Il est désirable que le travail sous terre soit défendu aux personnes du sexe féminin.

2° *La journée de travail dans les mines, offrant des dangers particuliers pour la santé, doit-elle être soumise à des restrictions?*

Il est désirable que, dans les cas où l'art des mines ne suffirait pas pour éloigner tous les dangers d'insalubrité provenant des conditions naturelles ou accidentelles de l'exploitation de certaines mines ou de certains chantiers de mine, la durée du travail soit restreinte. Le soin est laissé à chaque pays d'assurer ce résultat par voie législative ou administrative, ou par accord entre les exploitants et les ouvriers, ou autrement, selon les principes et la pratique de chaque nation.

3° *Pourra-t-on, dans l'intérêt public, pour assurer la continuité de la production du charbon, soumettre le travail dans les houillères à un règlement international?*

Il est désirable que la sécurité de l'ouvrier et la salubrité des travaux soient assurées par tous les moyens dont dispose la science et placées sous la surveillance de l'État;

Que les ingénieurs chargés de diriger l'exploitation soient exclusivement des hommes d'une expérience et d'une compétence technique dûment constatées;

Que les relations entre les ouvriers mineurs et les ingénieurs de l'exploitation soient le plus directes possible, pour avoir un caractère de confiance et de respect mutuel;

Que les institutions de prévoyance et de secours, organisées conformément aux mœurs de chaque pays et destinées à garantir l'ouvrier mineur et sa famille contre les effets de la maladie, des accidents, de l'invalidité prématurée, de la vieillesse et de la mort, institutions qui sont propres à améliorer le sort du mineur et à l'attacher à sa profession, soient de plus en plus développées;

Que, dans le but d'assurer la continuité de la production du charbon,

on s'efforce de prévenir les grèves. L'expérience tend à prouver que le meilleur moyen préventif consiste à ce que les patrons et les mineurs, réunis en associations, s'engagent volontairement, dans tous les cas où leurs différends ne pourraient pas être résolus par une entente directe, à recourir à la solution par l'arbitrage.

Ces très sages conseils nous paraissent résoudre pour le mieux les très graves questions sociales actuellement soulevées par le travail de l'homme au sein de la terre. Nous avons vu plus haut (page 195) comment le dernier d'entre eux a été déjà mis en pratique.

CIRCULATION DES HOMMES

La circulation du personnel à l'intérieur des mines a été étudiée, avec une grande compétence, par M. Reumaux, ingénieur en chef des mines de Lens, dans le rapport qu'il a présenté au congrès de 1889.

La montée et la descente des ouvriers dans les puits de mine s'effectuent principalement au moyen d'échelles fixes, d'échelles mobiles et surtout de cages guidées.

Nous ne parlerons que pour mémoire des escaliers qui existent dans certaines mines : une différence de hauteur de 86 mètres rachetée, à Wieliczka (Galicie), par une belle vis en maçonnerie ; 170 mètres d'escaliers dans la mine d'argent de Sala (Suède), et 400 mètres à la mine d'argent de Chañarcillo (Chili); ces travaux coûteux et trop luxueux constituent une exception.

Échelles fixes. — Les *échelles fixes*, aujourd'hui un peu délaissées, ont rendu de grands services et peuvent en rendre quand elles sont maintenues dans les mines qui possèdent des moyens mécaniques d'ascension, car elles assurent la sortie des mineurs en cas de désorganisation des moyens mécaniques.

Elles ont l'inconvénient de fatiguer inutilement l'ouvrier : on a établi qu'elles absorbaient par mètre d'échelle parcourue 1/4000 du travail qu'un homme dans la force de l'âge peut fournir par

jour. Leur sécurité n'est pas aussi grande qu'on a bien voulu le dire; elles causent en moyenne un accident par an et par 5000 ouvriers.

Les échelles fixes se font en bois et plus rarement en fer; si ces dernières sont d'une solidité absolue et d'une durée indéfinie, elles sont trop chères et ont l'inconvénient, en hiver, d'être aux doigts d'un contact pénible et engourdissant. Les échelles en bois ne coûtent pas plus de 3 francs par mètre courant; elles sont à échelons méplats bien en main et conviennent très bien dans les puits d'entrée d'air; celles en fer galvanisé ont des échelons ronds à emmanchement carré et sont avantageusement installées dans des compartiments du puits de sortie d'air. Elles doivent être attachées solidement, de façon à former un tout rigide qui ne fouette pas; les échelles verticales fatiguent horriblement les bras; l'inclinaison la plus favorable est de 70° environ. Elles sont généralement disposées en répétitions toutes parallèles et d'égales longueurs, séparées par des paliers à claire-voie qui n'arrêtent ni la circulation de l'air, ni l'écoulement de l'eau; elles sont isolées du compartiment où circulent les cages. Enfin elles doivent être facilement accessibles à la montée ou à la descente.

Échelles mobiles. — Les premières échelles mobiles, introduites vers 1830 dans les mines du Hartz, ont été, depuis, l'objet de nombreuses applications sous le nom de fahrkunst en Allemagne, man-engine en Angleterre, warocquère en Belgique et échelles mécaniques en France; on a construit à Přibram une échelle mobile sur une hauteur de 1000 mètres.

Ces échelles mécaniques comprennent en général deux tiges parallèles, régnant tout le long du puits et munies, de distance en distance, de paliers sur lesquels un homme peut se tenir, et de poignées qu'il peut prendre à la main. Ces tiges reçoivent des mouvements alternatifs en sens contraire; quand l'une atteint le haut de sa course, l'autre arrive en bas; à ce moment les paliers se trouvent au même niveau. La montée ou la descente s'effectue en passant d'un palier sur l'autre après chaque mouvement des

échelles, de manière à être toujours sur la tige ascendante ou sur celle descendante. On se tient sur le palier de droite avec le pied droit et la main droite, sur le palier de gauche avec le pied gauche et la main gauche. La figure 84 indique ces dispositifs. Pour avoir une grande facilité de manœuvre sans perdre sur la vitesse moyenne, il faut donner une grande longueur à la manivelle qui meut les tiges, tout en ayant une petite vitesse angulaire.

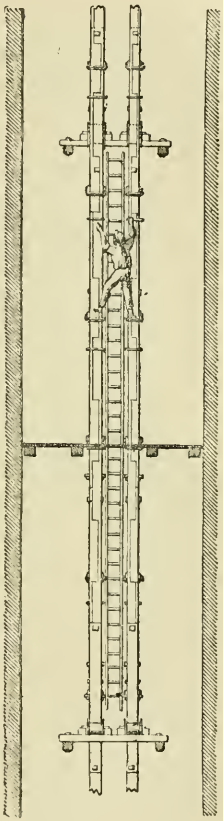


Fig. 84. — Fahrkunst.

Souvent l'appareil est simplifié et ne comprend qu'une tige munie de poignées et de paliers, venant se mettre en regard de niches disposées dans la paroi du puits. Pour que cet appareil présente la même rapidité de manœuvre que ceux à deux tiges, il faut avoir une vitesse angulaire double.

Le man-engine à tige unique, commandé par une machine à rotation, constitue un appareil simple, peu encombrant, dont l'usage s'est conservé dans plusieurs mines de Cornouailles, mais sans se répandre ailleurs.

Les fahrkunsts sont à deux tiges; celles autrefois installées en Allemagne sont restées en service, mais on en a créé peu de nouvelles; la dernière, dit M. Reumaux, paraît dater de 1875; c'est celle du siège Kœnigin-Maria, à Clausthal, qui a coûté 382 000 francs et fonctionne à 628 mètres de profondeur dans un compartiment de $1^m,92$ sur $1^m,92$ du puits d'extraction. Un ouvrier descend en 14 minutes et une brigade de 300 hommes en 73 minutes.

M. Warocquié a modifié les fahrkunst en augmentant la longueur de la course et la vitesse moyenne. Il établit des paliers

à balcons pouvant contenir plusieurs hommes à la fois dans deux compartiments réservés à la montée et à la descente, et il produit un temps d'arrêt absolu entre chaque excursion des tiges.

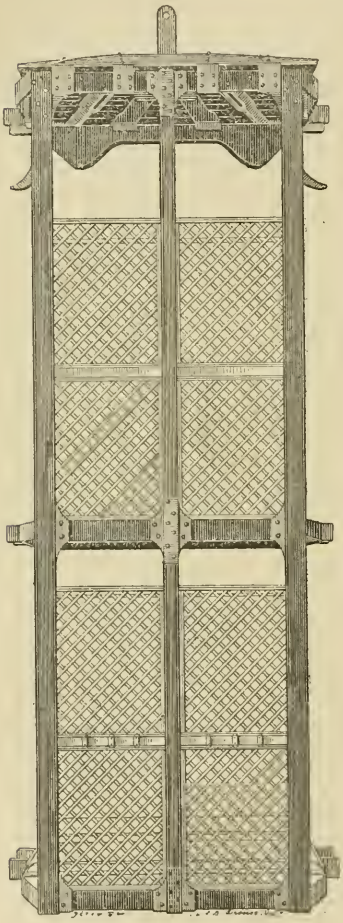


Fig. 85. — Cage à deux étages.

Dans la warocquère, les tiges sont actionnées par les pistons de deux pompes ouvertes par le haut et communiquant par le bas ; quand le piston de l'une est en haut de sa course, le piston de l'autre est en bas. Une machine à vapeur à double effet, à distribution par soupapes, met directement en mouvement le piston de l'une des pompes. Ou bien encore, on commande directement les deux tiges par les pistons de deux machines à vapeur à simple effet ; ces pistons sont reliés par une chaîne passant sur une poulie, de sorte que, quand l'un monte, l'autre descend.

M. Guinotte a remanié la warocquère et a présenté un nouveau modèle, qui fonctionnait à échelle réduite a l'Exposition universelle de Paris, en 1889.

« Ce très remarquable appareil, dit M. Reumaux, est actionné par une machine à rotation, dont le mouvement de bielle et manivelle, amplifié et transformé en mouvement rectiligne par l'intermédiaire de pistons et d'une colonne d'eau, est transmis à la maîtresse tige, sans que la loi des vitesses soit altérée. » Une course de 5 mètres

et 10 doubles oscillations par minute permettent d'atteindre une vitesse de translation de 83 centimètres par seconde, et d'opérer la descente du trait en une heure et demie.

Sauf dans le Hartz et le comté de Cornouailles, les échelles mobiles sont presque généralement délaissées, et cela tient principalement à ce qu'elles présentent de grandes difficultés d'entretien et de surveillance. Il n'est pas aisé, en effet, d'entretenir tout un attirail oscillant logé dans l'étroit compartiment d'un puits profond, au milieu d'eaux corrosives. Au point de vue de la sécurité, il faut tenir compte de la fatigue qu'elles imposent et de l'attention que les mineurs doivent apporter pour ne pas être pris entre les tiges ou tomber en passant de l'une à l'autre ; aussi ces appareils sont-ils un peu plus dangereux que les échelles fixes.

Fig. 86.
Descente dans une boucle de câble.

Cages guidées. — En 1886, 796 000 mineurs, en France, en Angleterre, en Belgique et en Allemagne, ont employé ce mode de circulation et le nombre de victimes par 1000 a été de 0,13, alors que cette moyenne, en 1868, s'était élevée à 0,40.

Les accidents possibles avec les cages sont dus à l'insuffisance des signaux, à l'inattention du mécanicien, à la rupture des engins, à l'usure ou au déplacement du guidage, et enfin à l'insouciance des ouvriers, et à leur répugnance à se soumettre aux règles édictées dans l'intérêt de leur sécurité.

Signaux. — Les signaux dont nous avons déjà parlé au chapitre VII prennent une importance particulièrement grande dans le transport des hommes. Le tube pneumatique, la barre métallique n'ont pas produit de résultats pratiques ; la sirène à air comprimé pourrait être plus satisfaisante. Généralement ces signaux sont donnés ou par la voix, ou par une sonnerie et un voyant actionnés par un câble ou par une transmission électrique.

Fig. 87. Knechte.

M. Chalon a présenté au *Congrès des mines et de la métallurgie* un intéressant rapport sur les signaux électriques. Il y cite un exemple, emprunté aux mines de Marles, où la communication s'établit à la fois par sonnerie et par signaux optiques, visibles sur des cadrans. La vérification de tous les signaux par l'envoyeur a lieu par le retour du courant. Des tableaux indicateurs, installés aux mines de Nœux, ont paru également démontrer l'utilité pratique de ces signaux électriques. Aux mines de la Peronnière, une communication téléphonique existe entre le machiniste du jour et la chambre des treuils électriques intérieurs. M. Catrice a récemment établi à Anzin une communication permanente entre la cage et la machine, au moyen d'un dispositif qui paraît pratique[1].

L'emploi des signaux électriques, permettant d'établir une communication permanente et instantanée entre le jour et l'intérieur de la mine, rendrait plus faciles les secours en cas d'accidents. Ils reposent généralement sur l'emploi d'une machine magnéto-électrique qui envoie un courant, lequel fait frapper un marteau sur une cloche. Malheureusement, les communications

1. M. Janet, *Annales des mines*, 1891.

sont imparfaites dans l'atmosphère chaude et humide des mines.

Quant aux accidents, parfois très graves, dus à l'inattention du mécanicien, on y remédie par divers procédés; on empêche le départ prématuré de la cage par un système de verroux qu'on ouvre seulement au moment de donner le signal, on peut aussi enclencher les taquets du jour à la corde de la sonnette. Nous avons indiqué divers moyens d'empêcher la cage d'aller aux molettes, mais le meilleur est encore l'emploi d'un mécanicien *soigneux et sobre.*

Une note, insérée aux *Annales des mines* en 1884, recommande de munir les parois latérales et postérieures des cages de treillis à mailles assez étroites pour éviter qu'un ouvrier ne puisse être atteint par l'autre cage.

M. Reumaux donne les règles suivantes pour la construction et le service des cages : établir largement tous les organes des appareils de circulation, en ne les laissant jamais travailler au delà de 1/10 de leur limite de rupture ; faire des visites journalières du

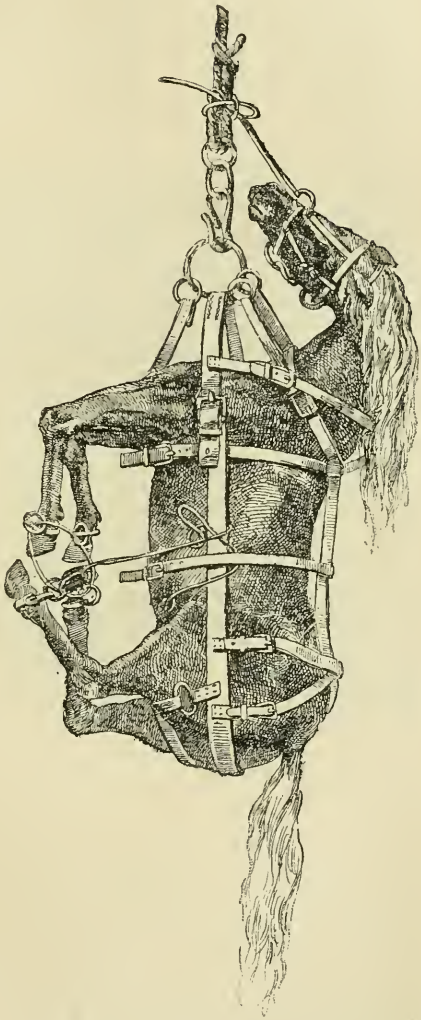


Fig. 88. — Descente des chevaux.

puits et du matériel, limiter la vitesse d'extraction, bien régler le nombre d'hommes qui doivent trouver place dans la cage, garnir les cages d'un chapeau protecteur, faire précéder par un voyage à vide la descente et la remonte du personnel, organiser le contrôle des câbles, munir les cages d'un bon parachute, régler en détail le service et le matériel des recettes. Il insiste justement sur l'emploi des parachutes (voir chapitre VII) dont les services, longtemps discutés, sont aujourd'hui reconnus presque universellement ; en Angleterre, ils sont rarement employés, les ingénieurs préférant porter leur attention sur le choix et l'entretien des câbles. M. Reumaux recommande l'emploi d'un guidage en acier recevant l'action d'un parachute-frein, qui a fort bien réussi aux mines de Lens et dont le modèle a été très apprécié à l'Exposition de 1889. Dans une griffe excentrée se trouve creusée, à la circonférence, une dentelure peu profonde qui produit un arrachement et assure un frottement suffisant.

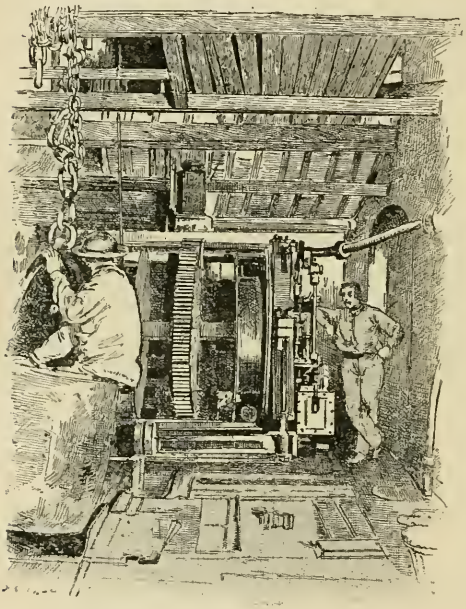


Fig. 89. — Recette d'un beurtia.

Moyens divers de transport. — Nous sommes loin aujourd'hui des premiers procédés de descente du mineur, soit dans une boucle du câble dont il tenait avec les mains la partie verticale, soit au moyen des knechte. Ces derniers, en usage aux mines de Schemnitz, étaient formés de lanières de cuir, l'une ser-

vant de siège, l'autre de dossier ; la lampe était attachée sous le siège. Citons aussi pour mémoire, pour les petites exploitations, les appareils australiens[1] qui fonctionnent sans moteur et où, l'extraction ayant lieu à bras, la montée des ouvriers se fait néanmoins par le câble; ces appareils permettent à un homme absolument isolé de monter et de descendre par la corde par sa propre force et sans l'aide de personne, ni en haut ni en bas[2].

La descente à la benne est généralement interdite aux hommes dans les faux puits. Les figures 89 et 90 représentent la visite, par un porion, d'un beurtia muni d'une machine à air comprimé. La première est prise à la recette supérieure, la seconde est prise d'un accrochage intermédiaire ; elle laisse apercevoir à l'extrême droite le compartiment des échelles et, en haut, un tuyau amenant du jour l'air comprimé.

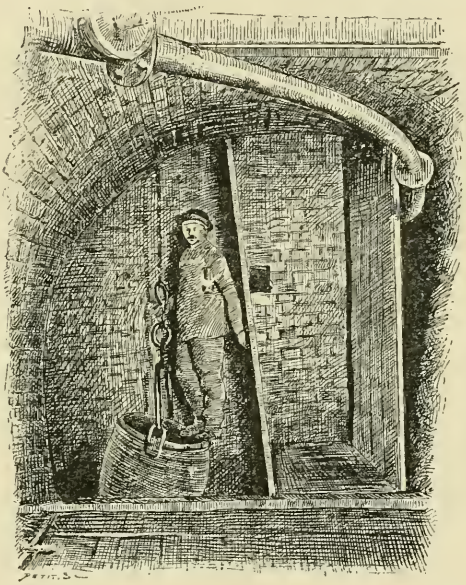


Fig. 90. — Beurtia.

1. M. Haton de la Goupillière, *Annales des mines*, 1882.

2. Après avoir parlé de la descente des hommes, il est juste d'ajouter un mot sur celle des chevaux qui, rendent dans les mines de si grands services et qui, une fois descendus, y restent généralement jusqu'à leur mort.

Ces animaux se portent en général très bien dans les mines, en raison de la constance de la température et de la régularité du travail. Leur descente s'effectue par la cage, si elle est assez grande, en ayant soin de couvrir les yeux de l'animal avec des œillères. Dans le cas contraire, on recourt à un fort filet de sangle dont la figure 88 explique suffisamment le mode d'emploi.

Nous allons compléter ce que nous avons dit, sur la circulation des hommes dans des puits, par la description d'un procédé que l'un de nous se rappelle avec plaisir avoir employé dans les mines de sel de Berchtesgaden (Salzkammergut) pour descendre dans des cheminées inclinées à 70°. On se couche sur deux poutres en sapin voisines et très polies, entre lesquelles est un escalier destiné à la remonte, et on descend avec une vitesse vertigineuse. On la modère seulement en faisant frein avec un gant sur une corde tendue.

Il a fait, sur des lacs intérieurs de cette mine, des promenades charmantes en bateau, et il en est sorti par une galerie en pente, à cheval sur un chariot qu'un herscheur poussait au grand galop.

ÉCLAIRAGE

L'ouvrier, en circulant ou en travaillant dans la mine, a besoin de s'éclairer, et cette question est importante, car la dépense qu'elle entraîne dépasse parfois le vingtième du prix de la main-d'œuvre. Nous réservons, pour le moment, la grave question de l'éclairage dans les atmosphères inflammables.

Chandelle. — Autrefois, des torches de sapin éclairaient les mines du Nord; la chandelle de suif a été, pendant des siècles, en usage. Ces chandelles, dites à la baguette, étaient fixées dans un bougeoir en fer pourvu d'une pointe que l'on piquait dans le bois des galeries, quand on ne se contentait pas de la coller aux parois avec une pelote de terre glaise.

L'emploi d'une lumière portative a été depuis longtemps reconnu nécessaire, pour permettre au mineur de fouiller les anfractuosités de la roche, sans avoir la vue fatiguée par une lumière interposée entre lui et le sol; à cet effet, une courroie attachée autour de la tête contenait une gaine dans laquelle cette lumière était placée : c'est peut-être là l'explication de la légende des Cyclopes.

Rave. — Le suif a été remplacé par l'huile[1] brûlant à feu nu ; la consommation par heure varie de 10 à 20 grammes ; le premier chiffre est réalisé quand la dépense d'éclairage incombe au mineur.

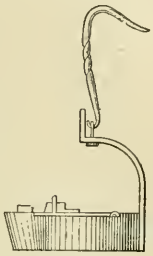


Fig. 91.
Lampe à feu nu.

L'huile est contenue dans une lampe métallique, portée à la main au moyen d'une anse assez longue et munie d'une pointe qui permet de la fixer aux parois. La figure 91 représente le type courant de lampe à feu nu. Mais le plus généralement la lampe est portée à l'aide d'un poignard, que l'on peut piquer dans les bois de soutènement ou passer dans une gaine fixée au chapeau (fig. 92) ; cette lampe, appelée rave, ainsi fixée, permet de conserver l'usage des mains. La rave coûte environ un franc.

Lampes fixes. — On emploie des feux fixes munis de réflecteurs placés aux endroits importants de la mine ; mais, sauf des cas spéciaux de mines à galeries régulières, ces feux fixes ne sauraient dispenser des lampes portatives. L'éclairage au gaz fabriqué au jour, économiquement quand il s'agit de houillères, ne peut s'appliquer que dans des cas exceptionnels.

Éclairage électrique. — Notamment dans les mines métalliques situées en pays accidentés, où existent des forces naturelles hydrauliques, on peut transformer celles-ci en courants électriques utilisés pour l'éclairage.

Fig. 92. — Lampe à feu nu portée au chapeau.

Cet éclairage peut être permanent avec lampes fixes, à arc pour la surface et à incandescence pour le fond.

Dans ce cas, le travail devient régulier et rapide, en même temps que moins pénible pour le mineur. Mais, dans les chantiers de travail, la lampe portative redevient toujours nécessaire ; celles

1. L'huile employée est celle d'olive dans le Midi et celle de colza ou quelquefois de noix dans le Nord.

reliées par des conducteurs sont incommodes : il faut donc une lampe indépendante[1], bien maniable, simple et solide, légère, d'un entretien et d'un chargement facile, donnant pendant huit heures un éclairage d'une intensité à peu près constante, ayant un pouvoir éclairant d'une bougie au minimum et dépensant peu. La plupart des lampes portatives actuelles sont chères, lourdes, encombrantes ou dangereuses, car elles contiennent des liquides corrosifs ; quelques-unes dépensent même quand elle ne sont pas utiles[2].

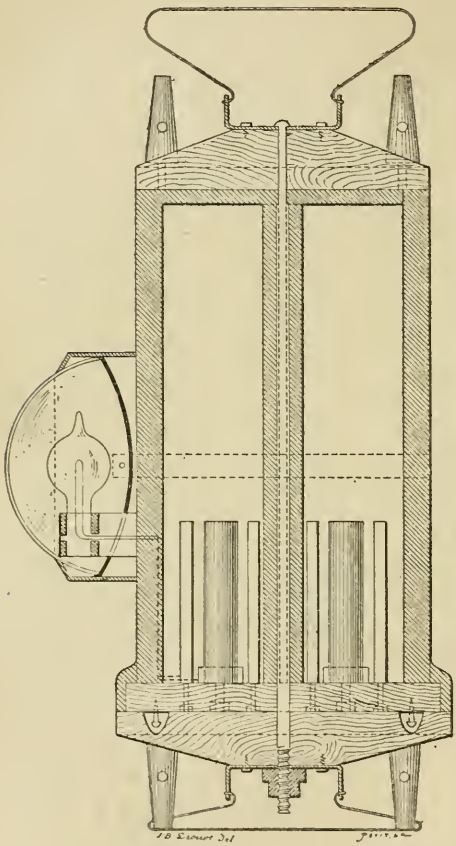


Fig. 93. — Lampe reversible. (Coupe.)

La lampe Swan pèse plus de 4 kilogrammes ; elle a, il est vrai, donné pendant dix heures un pouvoir éclairant de plus de deux bougies. Les lampes à piles primaires n'ont pu donner plus de quatre heures d'éclairage, sauf cependant la lampe Schanschieff, qui fournit pendant huit à douze heures une lumière d'une bougie ; c'est une pile zinc-charbon à un

1. Chalon, *l'Électricité dans les mines*, rapport au Congrès des mines et de la métallurgie.
2. M. Le Châtelier, *Revue scientifique*, 3 octobre 1891.

seul liquide, formé par une dissolution acide de sulfate de mercure.

Une communication de M. de Place, directeur de la Société anonyme des houillères de Rochebelle (voir *Comptes rendus mensuels de la Société de l'Industrie minérale, janvier et février* 1890) donne des indications, notamment sur le modèle dit *réversible*. Cette lampe a l'avantage d'être allumée ou éteinte par un simple renversement.

La batterie réversible, chargée de liquide, pèse environ $2^{kg},490$. Avec cette lampe, le prix de revient de l'éclairage est de 1 fr. 25 à 1 fr. 50 par poste de dix heures.

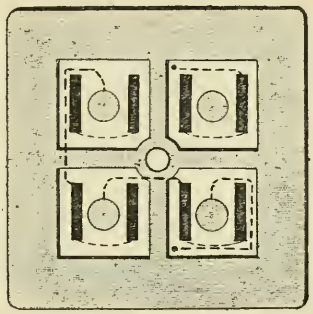


Fig. 94. — Lampe réversible. (Plan.)

Il nous paraît qu'on doit surtout la considérer comme une excellente lampe de réserve pour une descente après un accident.

On peut citer, dans le même ordre d'idées, la lampe Dumas-Benoît, dans laquelle un tube de Geisler, que l'on tient à la main, fournit une nappe lumineuse sous l'action d'un élément Bunsen et d'une bobine de Ruhmkorff, que l'on porte dans une cartouchière fixée au corps par une ceinture.

La lampe Stella, dont une description sommaire figure dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* du 11 août 1890, est une lampe à incandescence actionnée par un accumulateur électrique, et disposée de manière à éviter tout accident, même en cas de rupture du verre. D'après M. de Gerson, qui l'a présentée, elle assurerait la sécurité absolue des mineurs et se recommanderait par la simplicité d'entretien, la modicité de son prix, et la durée de sa lumière. Attendons, pour nous prononcer, qu'elle ait fait ses preuves dans la pratique.

CHAPITRE XI

ACCIDENTS

Nous terminerons ce volume en constatant que l'exploitation des mines tue, encore aujourd'hui, la vingtième partie du personnel qu'elle emploie.

Les accidents qui frappent le plus l'opinion publique, par le grand nombre des victimes simultanées, sont dus au grisou.

GRISOU

On désigne sous ce nom des gaz inflammables qui se dégagent dans les houillères et y produisent des accidents, contre lesquels on ne saurait recommander ou même imposer des mesures préventives trop minutieuses et trop sévères.

Composition. — Le grisou, désigné aussi sous le nom de brisou, terrou, feu grieux, mofette, mauvais air, mauvais goût, n'est pas un composé à proportions définies, mais un mélange complexe où domine presque toujours l'hydrogène protocarboné ou gaz des marais (CH^4). La proportion de ce gaz dans le grisou atteint quelquefois 98 0/0, mais varie le plus généralement de 80 à 92 0/0.

On constate également dans le grisou la présence d'hydrogène bicarboné (C^2H^4) (la proportion généralement faible de ce gaz s'est élevée dans certains cas à 16 0/0); d'acide carbonique et d'air avec une proportion prédominante d'azote. On a reconnu également quelquefois certaines quantités d'hydrogène, d'hydrure d'éthyle

(C^2H^6), d'hydrure de propyle (C^3H^8), d'hydrogène sulfuré et de sulfhydrate d'ammoniaque.

Propriétés physiques. — La densité de l'hydrogène protocarboné est de 0,56 à l'état de pureté; mais celle du grisou varie de 0,58 à 0,96; elle est en moyenne de 0,69. Ce gaz léger tend, par suite à s'accumuler au toit des ouvrages, à l'inverse de l'acide carbonique qui en occupe le sol; il se diffuse peu à peu, de sorte que la teneur de l'atmosphère en hydrocarbures diminue du toit à la sole. Quand il est mélangé à l'air, les divers gaz ne se séparent plus.

Le gaz des marais est incolore. Le grisou est presque incolore, cependant il présente un pouvoir réfringent, assez différent de celui de l'air, ce qui explique qu'on le voie très bien sortir de la houille en filaments qui gagnent le toit.

Comme le gaz des marais, le grisou est inodore, cependant il a quelquefois une odeur fétide due à l'acide sulfhydrique et à l'ammoniaque. Il est également insipide, du moins en général; cependant il présente, dans certains cas, un léger goût de pomme. Il produit des picotements aux yeux.

Le grisou n'est pas reconnu vénéneux, mais il est asphyxiant, dès qu'il entre pour un tiers dans la composition du mélange respirable; on tombe alors dans la zone la moins contaminée et l'asphyxie ne persiste pas.

Propriétés chimiques. — Le gaz des marais est regardé par les chimistes comme insoluble dans l'eau même alcaline : cependant M. Chansselle a observé, à Saint-Étienne, qu'à la pression totale de 2,7 atmosphères, le grisou peut se dissoudre dans environ 40 volumes d'eau. Une observation analogue a été faite à Crespin-lez-Anzin, par M. Chavatte.

Le gaz des marais est combustible; ses éléments s'unissent à l'oxygène pour former de l'eau et de l'acide carbonique. Un volume de gaz avec deux volumes d'oxygène produit deux volumes de vapeur d'eau, qui se condensent en grande partie, et un volume d'acide carbonique. Par suite, la combustion du grisou, dans un

excès d'air, fait disparaître après refroidissement, un volume presque double de celui qu'occupait le gaz combustible.

Quand on enflamme un jet de gaz hydrogène protocarboné pur dans une masse d'air pur, la flamme est blanche; si au contraire le jet de gaz, préalablement mélangé d'air en proportion convenable, est enflammé dans une atmosphère pure, il brûle avec une légère flamme bleue; c'est celle que l'on observe dans les mines; si la proportion d'hydrogène protocarboné est plus forte, il se produit au contact d'une flamme une explosion, qui n'a généralement pas lieu au contact d'un corps solide incandescent. De récentes expériences ont démontré la complète innocuité, dans une atmosphère grisouteuse, des étincelles produites par le choc des pics contre les roches dures.

Les propriétés du grisou mélangé à l'air varient beaucoup suivant sa proportion; au contact d'une flamme nue, il prend feu, dès qu'il entre dans le mélange pour la proportion de 6,1 0/0. Cette propriété est utilisée dans l'indicateur de grisou de Thomas Shaw.

Les lampes de sûreté, décrites plus loin, commencent à marquer, en s'entourant d'une auréole bleue, en s'allongeant et en devenant fuligineuses, quand il y a au moins 3 ou 4 0/0 de grisou; à 6 0/0 la flamme est très longue et l'auréole très épanouie, entre 7 et 8 0/0 l'inflammation se propage avec lenteur, vers 13 0/0 l'explosion devient instantanée; elle atteint vers 18 0/0 le maximum d'énergie; à 20 0/0 on se retrouve comme à 6 0/0; à 30 0/0 la lampe s'éteint.

L'explosion du grisou est produite par l'étincelle électrique, ce qui mérite d'être pris en sérieuse considération pour combattre l'emploi de l'électricité dans les mines grisouteuses.

MM. Mallard et Le Châtelier ont étudié la *vitesse d'inflammation* avec laquelle le grisou brûle de proche en proche; elle n'est pas constante et varie avec la teneur du mélange. Elle est maximum (0^m,60 par seconde) pour un mélange de 12,1 parties de grisou avec 100 parties d'air. Cette vitesse ne doit pas être confondue avec celle de *propagation du coup de feu*. Celle-ci, qui est

beaucoup plus grande, dépend de divers facteurs, la vitesse d'inflammation, la vitesse du courant d'air préexistant, l'énorme poussée produite par l'expansion du gaz subitement porté à une température élevée, et les étranglements qui existent sur le trajet de propagation.

La température d'inflammation de l'hydrogène protocarboné est, d'après MM. Mallard et Le Châtelier, de 780°; celle de l'hydrogène bicarboné seulement de 550°. Il est nécessaire que cette température persiste pendant un certain temps pour amener la combustion. La pression maximum, qui se produit par l'inflammation d'un mélange de grisou et d'air, est, d'après les mêmes expérimentateurs, de 6,5 atmosphères, correspondant environ à la proportion d'un dixième de grisou.

Gisement du grisou. — Le grisou se trouve dans les pores de la houille peut-être à l'état gazeux; certaines personnes croient à son existence à l'état liquide et même solide[1]. Les meilleures raisons, que l'on peut fournir à l'appui de cette assertion, se trouvent dans les explosions survenues dans la houille daloïde belge[2], et accompagnées d'une quantité énorme de menu, que l'on retrouve ensuite froid comme glace.

Le grisou s'échappe de la houille, en en détachant une multitude de parcelles et en produisant un bruissement particulier, que les mineurs appellent le *chant du grisou;* ils disent aussi que le gaz *frise.*

Dans certaines houillères grisouteuses, les fronts de taille se gonflent et éclatent : une sole grisouteuse, maintenue par un radier, s'est soulevée en détruisant la maçonnerie. M. Lindsay Wood a, d'après des mesures directes, constaté que le grisou atteignait parfois la pression de 33 atmosphères. La tension de grisou dans la houille doit évidemment tenir aux conditions de sa formation, à

1. *Les Sciences expérimentales*, IIe partie, ch. VII.

2. La houille daloïde, noire, fibreuse et pulvérulente, appelée fusain à Saint-Etienne, n'est autre que du charbon de bois ayant conservé sa structure et appartenant soit à des fougères arborescentes, soit à des sigillaires ou à des cordaïtes. (Haton de la Goupillière.)

la pression que le gisement subit des terrains superposés et à leur degré de perméabilité.

La teneur en grisou de la houille est du reste très variable ; ce gaz paraît plus fréquent quand le charbon est gras.

Le grisou peut dans certains cas se dégager de la houille et s'extravaser dans les cavités naturelles existant non seulement au toit des couches, mais même au mur. Ces dépôts funestes, connus sous le nom de *nids* ou *sacs de grisou,* se rencontrent surtout aux crochons. Quand ils trouvent un débouché, ils prennent le nom de *soufflards.*

Quelques-uns d'entre eux ont duré un demi-siècle et ont pu être captés et suffire à l'éclairage des abords du puits; la pression du gaz y atteint parfois plusieurs atmosphères. Les vieux travaux et même, dans certains cas, des travaux en cours, peuvent devenir des nids à grisou.

En général, dans les houillères, le grisou se dégage au moment de la mise à nu et s'arrête au bout de quelques heures. On peut donc admettre que le dégagement journalier de gaz dans une mine est proportionnel à la surface mise à nu, et par suite à l'extraction.

Ce n'est pas seulement dans les houillères que l'on constate le dégagement de grisou, quoique ce soit le cas le plus habituel. Ce gaz est assez fréquent dans des mines de sel; à Szlatina, dès 1826, l'éclairage était fait au grisou. M. Pernolet cite des coups de grisou dans les soufrières de Sicile.

Le grisou, ou un gaz analogue, a été également constaté dans des mines métalliques. M. Daubrée l'a signalé le premier dans les minerais de fer en Alsace ; on l'a rencontré aussi dans des mines de cuivre, de plomb, etc. Il paraît probable que, dans la plupart de ces cas, ce gaz avait une origine interne et filonienne comme les fontaines de gaz de la Chine et les mines de pétrole du Caucase (voy. chapitre XIV); mais sa présence peut aussi être expliquée par celle de dépôts de combustibles existant dans le voisinage, ou aussi par la décomposition de matières végétales au contact de l'eau.

Influences extérieures. — Vu la pression du grisou dans la houille et dans les soufflards, une variation dans la pression atmosphérique, fût-elle même notable, ne pourrait exercer aucune influence sensible sur le dégagement proprement dit du grisou.

D'autre part, il existe, à la pression atmosphérique, du grisou dans les chantiers, galeries, etc., ainsi que dans les interstices des remblais et des éboulements. Ces vides dans les remblais peuvent atteindre un tiers du volume de la matière enlevée. Une baisse barométrique, même faible, permet à ce gaz d'envahir les travaux.

Les études de M. Chesneau[1] paraissent démontrer l'existence d'une corrélation entre les mouvements microsismiques[2] exagérés de l'écorce terrestre et les dégagements anormaux de grisou dans les mines.

POUSSIÈRES DE CHARBON

Les poussières fines de charbon exaltent le danger du grisou et sont même à redouter en son absence. Cette idée, émise pour la première fois par Faraday et Lyell à propos d'un coup de grisou à Haswell, a été reprise par du Souich en France.

Le 20 mai 1882, M. Badoureau ayant trouvé sur les bois, dans les mines de Liévin, après une explosion, des croûtes agglutinées contenant 14 à 18 0/0 de matières volatiles, alors que les poussières ramassées dans les galeries en contiennent 21 0/0, terminait ainsi une note insérée dans la *Revue scientifique* : « L'accident du 13 avril 1882 nous paraît démontrer que les poussières charbonneuses, même peu abondantes, peuvent devenir la cause de graves dangers dans une atmosphère peu ou point grisouteuse, et qu'il est nécessaire de prendre des précautions spéciales avant de tirer des coups de mine et dangereux de tirer plusieurs coups à court intervalle. »

Depuis lors la question a été étudiée à fond par la commission

1. *Annales des mines*, 1888.
2. Voyez *les Sciences expérimentales*.

du grisou, et éclairée par les expériences de MM. Mallard et Le Châtelier[1].

Dans un coup de grisou, les poussières charbonneuses peuvent perdre la moitié ou le quart de leurs matières volatiles, et ces gaz, mélangés à l'air, constituent un mélange explosif qui peut produire un nouvel accident. En outre, les poussières condensent à leur surface le gaz inflammable et rendent ainsi explosif un mélange anodin (1 volume de grisou et 112 volumes d'air). Enfin elles sont combustibles et peuvent même donner lieu, sans la présence du grisou, à une véritable explosion. MM. Mallard et Le Châtelier ont constaté que les poussières de charbon sont inflammables par un coup de mine. Cela explique que, dans certains accidents, les ouvriers aient vu une flamme rouge et aient été brûlés à la partie inférieure du corps.

Un terrible accident, survenu le 18 février 1890 aux mines de la Machine (Nièvre), confirme d'ailleurs ce dire d'une manière éclatante. Voici en effet ce que nous écrivait, le 7 mai 1890, M. l'ingénieur Laurent, au sujet de cet accident, qu'il a instruit officiellement :

« La cause première de l'inflammation a été le débourrage simultané de deux coups de mine, percés à l'avancement d'un montage, l'un à la sole et horizontal, l'autre au toit et incliné. 43 victimes ont péri dans cette catastrophe. On n'a jamais signalé la moindre trace de grisou depuis l'origine de l'exploitation du bassin de Decize; et après l'accident, dans les nombreuses tournées que j'ai faites, la lampe Pieler n'a pas accusé la présence du gaz inflammable. L'analyse chimique de prises d'air de la mine n'en a pas non plus démontré jusqu'à présent. »

L'autopsie des victimes a d'ailleurs établi leur empoisonnement par l'oxyde de carbone, produit de la combustion incomplète des poussières charbonneuses en excès, et les lampes des mineurs sont restées allumées après la mort de leurs propriétaires.

M. Laurent termine ainsi une note publiée, en 1891, dans les *Annales des mines*, sur ce même accident : « Une mine non grisou-

1. Mémoire inséré aux *Annales des mines* de 1882.

teuse peut être le théâtre d'accidents graves, provenant de l'inflammation des poussières, par suite du débourrage de coups de mine chargés à la poudre noire. »

Il est donc hors de doute, aujourd'hui, que les poussières de charbon, de charbon gras surtout, sont extrêmement redoutables. Les mesures préventives consistent dans un balayage du chantier ou un arrosage, qui paralyse momentanément les propriétés des poussières ; on a également essayé l'emploi d'une dissolution très hygroscopique de chlorure de calcium.

MESURES A PRENDRE

DANS LES MINES GRISOUTEUSES

Ventilation. — La plus importante mesure à prendre dans une mine grisouteuse est d'y envoyer assez d'air pour empêcher que la proportion du grisou n'atteigne nulle part 6 millièmes. L'emploi de l'air comprimé a pour avantage accessoire d'augmenter la ventilation. Depuis 1872, à Blanzy, on ne connaît plus les explosions de grisou. L'aérage a également pour effet de rafraîchir les poussières de charbon et de les rendre moins inflammables. Le courant d'air ne doit pas avoir une trop grande vitesse, car alors il soulèverait et dessécherait les poussières, et il ferait sortir la flamme des lampes.

C'est pourquoi on donne une large section aux galeries. Dans les mines grisouteuses, on doit avoir soin de bien brasser le courant d'air, par les moyens indiqués au chapitre IX, afin de ne pas avoir des courants parallèles très diversement chargés de grisou. Nous avons indiqué l'utilité d'une circulation ascensionnelle ; il ne faut jamais que le courant qui a passé sur un point grisouteux redescende, car le grisou s'accumulerait à l'endroit le plus élevé. Le courant doit être subdivisé, de manière à conduire directement l'air vicié au jour, sans le faire passer sur toutes les lampes. En outre, on

peut ainsi augmenter l'aérage d'un quartier momentanément dangereux. Il faut avoir bien soin d'éviter les anfractuosités, qui sont des nids à grisou, et d'exercer une active surveillance de l'aérage.

L'aérage naturel ne convient pas aux mines grisouteuses, l'emploi des foyers y est dangereux. Les ventilateurs à force centrifuge peuvent être employés pour les mines larges, les volumogènes pour les mines étroites. On peut aussi employer le système Blanchet, décrit à propos de l'extraction. Les chutes d'eau sont efficaces après un accident; les manches à vent ne le sont guère. L'injecteur Kœrting à air comprimé, ou à vapeur d'eau, rend de grands services après les explosions; on peut également lancer la vapeur d'échappement dans le puits.

Exploitation. — La disposition des travaux pour l'aérage dans les mines grisouteuses doit être faite avec grand soin.

Quand on perce une galerie dans un quartier très grisouteux, il vaut mieux en créer deux parallèles, reliées de distance en distance par des recoupes dont la dernière seule est maintenue ouverte, toutes les autres étant fermées. De la sorte, l'air arrive par une galerie et revient par l'autre.

L'exploitation par gradins renversés, en usage dans les dressants et les maintenages, doit être rejetée à cause de l'abondance des angles rentrants qui constituent des nids à grisou. La méthode par tailles montantes est aussi mauvaise, car le grisou séjournerait auprès des lampes devant le front de taille. Il faut éviter les ouvrages en remonte, et combler les cloches qui se forment dans le toit.

Les planchers des puits doivent être à claire-voie ou percés de trous, pour empêcher l'accumulation du grisou en dessous d'eux.

Les méthodes par éboulement sont éminemment dangereuses dans les gîtes grisouteux; il faut employer celles par *remblai* et faire le traçage, un temps notable, avant de procéder au dépilage. On commencera l'exploitation par les étages supérieurs.

Quand un quartier devient trop grisouteux, on l'abandonne en le barrant; on a conseillé aussi de l'assainir, pour éviter une infection ultérieure, et de remplacer la voie d'aérage par des voies nouvelles tracées dans le rocher.

Emploi des explosifs dans les mines à grisou. — L'emploi de la poudre noire dans les mines grisouteuses présente le grave danger d'enflammer ce gaz et les poussières, tant dans l'opération de l'amorçage que par l'explosion elle-même, surtout quand le coup débourre et quand on tire deux coups successifs, dont l'un soulève des poussières que l'autre enflamme. Aussi, dans ces mines, ne confie-t-on le tirage qu'à des ouvriers spéciaux, qui prennent auparavant toutes les précautions d'usage pour constater l'état de l'atmosphère de la mine.

La circulaire ministérielle du 1er août 1890[1] interdit de faire usage, dans les mines grisouteuses ou à poussières inflammables, d'explosifs produisant par leur détonation des éléments combustibles, tels que : hydrogène, oxyde de carbone, carbone solide, etc., ou dont la température de détonation dépasse 1900° pour les travaux au rocher ou 1500° pour les travaux en couche. On peut satisfaire à toutes ces conditions en employant, par exemple, des mélanges d'azotate d'ammoniaque[2] et d'un explosif énergique contenant au maximum pour les travaux :

Au rocher.	A la veine.	
40 0/0	20 0/0	de dynamite n° 1 (75 0/0 de nitroglycérine et 25 0/0 de silice).
30 —	12 —	de dynamite gomme (91,7 0/0 de nitroglycérine et 8,3 0/0 de coton ennéanitrique.
20 —	9,5 —	de coton octonitrique.
10 —	0 —	de binitrobenzine.

La même circulaire prescrit de bourrer les trous de mine avec

1. Voir à ce sujet un article de M. Simon, publié par les *Annales des mines* de 1890.

2. Ce corps n'a comme inconvénient que sa forte déliquescence.

des matières plastiques, de manière à éviter le débourrage, et elle fixe la hauteur minimum de la bourre à

$0^m,20$ si la charge est inférieure à 100 grammes.				
$0^m,25$	—	—	200	—
$0^m,30$	—	—	300	—
$0^m,35$	—	—	400	—
$0^m,40$	—	—	500	—
$0^m,45$	—	—	600	—
$0^m,50$ si elle excède ce dernier chiffre.				

Elle ordonne l'emploi d'une capsule fulminante assez énergique pour assurer la détonation de la cartouche, même à l'air libre.

Elle rappelle enfin les prescriptions antérieures, notamment en ce qui concerne le boute-feu spécial, la constatation de l'absence du grisou avant le tirage, etc.

L'explosif Favier, composé de grains d'azotate d'ammoniaque enrobés dans 10 0/0 de naphtaline mononitrée fondue, et comprimés en forme de galets cylindriques, avec un détonateur central, paraît donner d'excellents résultats.

Le bourrage a été l'objet d'un examen attentif de la Commission des substances explosives, qui conseille simplement de bien enfoncer la cartouche au fond du trou garni préalablement d'argile un peu humide. L'argile plastique est d'un emploi très simple et très sûr.

La question du mode d'allumage dans les mines à grisou n'est pas encore parfaitement élucidée. On cherche actuellement, notamment à Anzin, à modifier la mèche de sûreté pour obtenir une complète innocuité. L'inflammation de l'extrémité libre de la mèche peut être faite avec un assez grand degré de sécurité, au moyen de la lampe Heath and Frost.

M. Mallard pense qu'on réaliserait un progrès en supprimant l'emploi de la mèche de sûreté. On a préconisé en Autriche des amorces à friction qui ont été heureusement employées dans les houillères de la Silésie autrichienne. L'allumage des coups de

mine au moyen de courants électriques à faible tension et à forte quantité, faisant rougir un fil en relation avec la capsule, semble devoir être préféré. Les courants à forte tension doivent être absolument bannis, à cause du danger des étincelles[1]. Les courants doivent être obtenus plutôt au moyen de dynamos que de piles, d'un emploi incommode dans les mines. MM. Manet frères ont récemment proposé une dynamo qui semble, par ses dispositions ingénieuses, devoir donner des résultats satisfaisants.

Quoi qu'il en soit, nous croyons devoir recommander, dans les mines très grisouteuses, de recourir autant que possible à l'emploi des divers procédés cités au chapitre IV : aiguille infernale, cartouche de chaux vive, eau ou air sous pression, bosseyage mécanique.

Même en mettant de côté toute idée philanthropique, les procédés économiques, mais dangereux, doivent être abandonnés : ils reviennent souvent trop cher.

Divers moyens de combattre le grisou. — Le meilleur préservatif contre le grisou est l'envoi d'un excès d'air capable de noyer ce gaz. On a proposé et appliqué d'autres moyens de combattre cet invisible ennemi. Jadis, avant la descente du poste, on faisait entrer dans la mine un homme prudent, appelé *pénitent* à cause du costume et du capuchon en cuir dont il était revêtu. Il était chargé d'aller enflammer avec une mèche, en rampant à terre, le grisou qui s'était accumulé au toit des galeries. Il payait souvent de sa vie cet acte de courage et de dévouement. Cette coutume barbare a entièrement disparu.

On employait aussi des *lampes éternelles*, allumées en permanence aux points où l'on supposait devoir se produire l'accumulation du grisou ; elles devaient consumer ce gaz au fur et à mesure de son dégagement, de manière à l'empêcher d'atteindre une proportion susceptible de produire des explosions. On retrouve encore cette ancienne méthode en Saxe ; mais elle est pleine de danger

1. Il est bien évident que cette règle doit être absolument générale dans les mines grisouteuses, quel que soit d'ailleurs l'emploi du courant électrique.

et même inefficace dans la plupart des cas. On peut aussi employer des étincelles électriques continues : mais tous ces procédés sont dangereux.

M. Minary a proposé de capter le grisou et de profiter de sa faible densité pour l'évacuer au dehors ; le même inventeur a appliqué le principe de l'*endosmose*, en faisant passer le grisou dans des conduites poreuses, où il déterminait, à l'aide de ventilateurs, un mouvement d'évacuation.

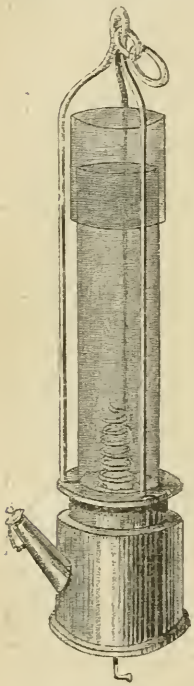


Fig. 95.
Lampe Davy.

L'emploi d'absorbants, chlorure de chaux, éponge de platine, etc., ne semble pas pouvoir être d'une application pratique.

Éclairage. — Le contact d'une flamme pouvant, comme nous l'avons dit, allumer le grisou, l'éclairage par les lampes à feu nu doit être rigoureusement banni des mines grisouteuses; il y faut un éclairage de sûreté.

Nous ne parlerons que pour mémoire des systèmes d'éclairage fondés sur l'emploi du rouet à silex, du tube d'Alvergniat, ou des matières phosphorescentes. Nous arriverons tout de suite à la lampe à treillis métallique, dont la mémorable invention paraît due à Davy, en 1815.

Sir Humphry Davy, chargé d'étudier la question d'un éclairage de sûreté dans les mines à grisou, reconnut la possibilité d'éviter les inflammations que donne la lampe à l'huile, en l'entourant d'une enveloppe conductrice de la chaleur, ne donnant accès à l'air extérieur que par des orifices suffisamment étroits. Les toiles métalliques opposent, tant qu'elles ne sont pas échauffées, un obstacle à la propagation de la flamme, au moins dans un milieu en repos.

Davy a adopté un type très simple de lampe, dans lequel la flamme est simplement recouverte par un tamis cylindrique en

fils de fer ou de cuivre, renforcé à la partie supérieure, et refroidissant assez les gaz de la combustion pour empêcher la flamme de sortir.

La lampe primitive de Davy est encore aujourd'hui usitée. Le nombre de mailles au centimètre carré varie de 121 à 210, le diamètre des fils varie de 250 à 640 μ [1], et le côté des orifices carrés de 270 à 590 μ, la hauteur du tamis varie de 132 à 195 millimètres et son diamètre de 38 à 68 millimètres.

La lampe Davy donne peu de clarté: le tamis arrête les 2/3 de la lumière émise.

Cette lampe a donné naissance à de nombreux dérivés, dont nous allons passer en revue les principaux. Les meilleurs sont ceux qui résistent à la fois à l'expansion brusque des gaz, détonant dans l'intérieur de la lampe, et aux effets des courants d'air extérieurs.

Nous ne saurions mieux exposer cette question qu'en résumant les rapports présentés à ce sujet au Congrès des mines par M. le Chatelier, et à la commission française du grisou par MM. Mallard, Le Chatelier et Chesneau.

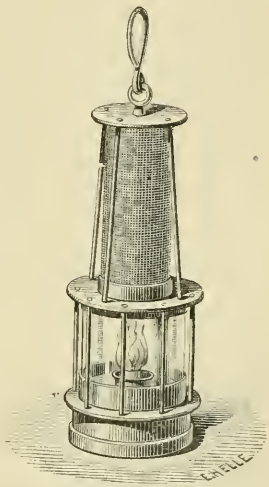


Fig. 96. — Lampe Davy, modifiée par Combes.

On corrige le manque de clarté de la lampe Davy en remplaçant, à hauteur de la flamme, le tamis métallique par un verre; c'est ce qu'avait fait Combes, dans la lampe représentée; mais, construites ainsi, ces lampes sont sensibles aux balancements qu'elles éprouvent forcément pendant la marche du mineur, et s'éteignent facilement; en repos, elles donnent une belle lumière.

Diverses tentatives infructueuses ont été faites pour remédier

1. Le micron (μ) est le millième du millimètre.

à ce danger d'extinction. M. Fumat seul a été assez heureux; l'extinction de sa lampe peut cependant encore être provoquée par des courants d'air ascendants.

Aucun type de lampe à alimentation directe n'est encore définitivement entré dans la pratique; on leur a reproché de ne pas s'éteindre dans les mélanges explosifs. La lampe Fumat ne présente pourtant pas ce défaut.

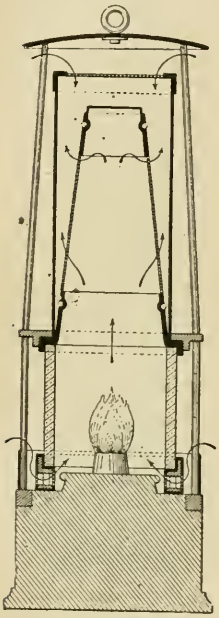


Fig. 97.
Lampe Fumat.

Les lampes à alimentation renversée sont aujourd'hui les plus usuelles parmi les lampes à verre. La plus ancienne est la *lampe Clanny*, désignée en France sous le nom de lampe Boty. C'est une lampe Davy dans laquelle la partie inférieure du tamis est remplacée par un verre. L'air entre au-dessus de ce verre, descend contre ses parois, tandis que les fumées s'élèvent au milieu en sens inverse. Les deux courants, ascendant et descendant, ne sont pas séparés l'un de l'autre. L'extinction a lieu dans un mélange explosif en repos, mais si ce mélange est en mouvement, elle n'a plus lieu.

La lampe imaginée par *M. Marsaut*, à la suite d'une étude très complète des lampes de sûreté, est une lampe Clanny dans laquelle le tamis, généralement double ou triple, est de plus entouré par un écran métallique qui protège la lampe contre les courants horizontaux rapides. L'air arrive par un certain nombre de trous percés à la base de cet écran, en face de l'anneau en cuivre qui porte le tamis. Les produits de la combustion s'échappent par des trous percés à l'extrémité supérieure de l'écran. Cette lampe s'éteint dans les mélanges explosifs en repos, car, en raison des dimensions restreintes des trous de sortie, les fumées sont rabattues en quantité notable vers l'admission d'air.

De toutes les lampes à circulation renversée, la plus employée est la *lampe Mueseler,* inventée en 1840 par l'ingénieur belge de ce nom et obligatoire en Belgique. Mueseler réalise dans sa lampe (fig. 99) un grand degré de sécurité, en mélangeant partiellement, suivant une idée de Davy, les produits de la combustion avec l'air frais entrant dans la lampe, de manière à rendre le mélange explosif moins comburant.

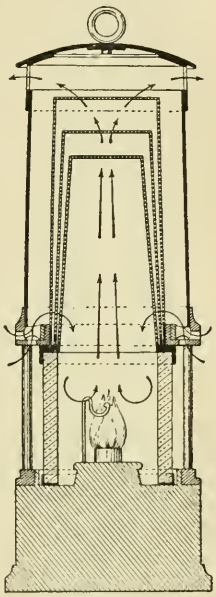


Fig. 98.
Lampe Marsaut.

Les toiles métalliques suffisent, dans ces conditions, à arrêter la propagation de la flamme, même dans les mélanges d'hydrogène et d'air. Le mélange partiel de l'air frais et des gaz brûlés est obtenu en faisant évacuer les produits de la combustion seulement par une cheminée assez étroite. L'air arrive en descendant autour de la base de la cheminée, après avoir traversé un diaphragme horizontal en toile métallique. Le diaphragme et la cheminée sont recouverts d'un tamis semblable à celui de la lampe de Clanny, qui ne sert que de seconde zone de protection et n'est pas indispensable à la sécurité de la lampe dans les conditions normales d'emploi. Cette lampe s'éteint toujours quand elle est placée dans un mélange explosif en repos, ou animé seulement d'un mouvement de translation horizontal; mais elle a, sur les lampes Davy et Clanny, l'inconvénient de s'éteindre dans une atmosphère pure et en repos, dès qu'on l'incline un peu; par contre, elle a sur elles l'avantage de ne pas s'éteindre dans les courants d'air.

Comme toutes ces lampes peuvent s'éteindre sous l'action de causes diverses, on a toujours le soin de disposer, près du puits d'entrée de l'air, une station de rallumage, où un employé spécial, muni d'une clef, ouvre les lampes et les rallume.

Les lampes de mine sont entourées d'une armature destinée à les préserver contre les chocs. Elles sont munies d'un crochet de suspension; elles comportent une mouchette qui permet, de l'extérieur, d'agir sur la mèche.

Toiles métalliques. — Le degré de sécurité qu'offrent les toiles en fils de fer, de cuivre ou de laiton, à mailles serrées, dépend de l'élévation de température à laquelle elles sont portées, de la nature et de la composition du mélange combustible, ainsi que de l'agitation du mélange gazeux combustible.

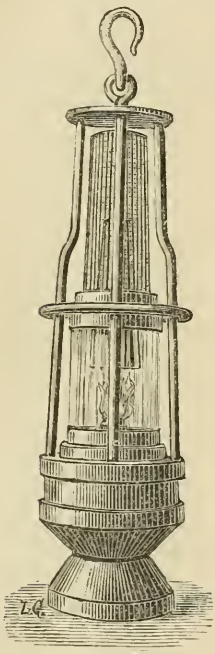


Fig. 99.
Lampe Mueseler.

A 650°, c'est-à-dire au rouge sombre, les toiles métalliques sont insuffisantes pour arrêter la flamme des mélanges de grisou et d'air; par suite, une lampe quelconque dont le tamis rougit n'est plus sûre.

L'agitation du mélange gazeux influe notablement sur la sécurité des toiles métalliques.

Sécurité. — De nombreuses expériences de laboratoire ont été faites sur les lampes de sûreté, en cherchant à reproduire les circonstances dangereuses qui peuvent se présenter dans les mines; elles sont surtout l'œuvre de diverses commissions instituées en Belgique, en Angleterre, en France, etc.

M. Marsaut a imaginé un mode d'essai au moyen d'une cloche qui permet de se rapprocher des conditions naturelles.

Voici quelques-unes des conclusions auxquelles ces expériences ont conduit pour les diverses lampes.

Les lampes Davy paraissent présenter de bonnes conditions de sécurité dans les mélanges explosifs en repos formés par le grisou ou le gaz d'éclairage. Une vitesse d'environ quatre mètres par

seconde fait passer sûrement au dehors la flamme dans le cas du grisou. Cette vitesse dépend d'ailleurs du nombre de mailles au centimètre carré, du diamètre des fils et de la nature du métal; le cuivre serait un peu plus favorable au passage de la flamme que le fer. Dès 1867, la commission de Saint-Étienne avait émis l'opinion, justifiée depuis, qu'il fallait renoncer absolument à l'emploi des lampes de sûreté formées d'une simple enveloppe de toile métallique.

La lampe Clanny s'éteint presque sûrement dans le gaz d'éclairage ou dans le grisou. Dans la cloche Marsaut, sa sécurité est beaucoup plus grande que celle de la lampe Davy.

Il semble résulter d'un ensemble très complet d'expériences que la lampe Mueseler réglementaire, en bon état de conservation, laisse rarement passer la flamme avec le gaz d'éclairage et jamais avec le grisou. Dans les courants horizontaux, elle résiste bien à des vitesses supérieures à celles qui se rencontrent dans les mines.

La lampe Marsaut du type normal et la lampe Fumat résistent bien dans des courants d'air et de gaz d'éclairage.

Les moindres changements, apportés à une lampe, modifient d'ailleurs notablement sa sécurité.

Accidents causés par les lampes. — Les statistiques faites en France et en Belgique donnent l'importance relative suivante aux diverses causes d'accidents.

	France.	Belgique.
Lampes de sûreté.	20	37
Lampes à feu nu	55	20
Tirage à la poudre..	15	30
Causes diverses ou inconnues.	10	13
	100	100

Il résulte de ce tableau que les lampes sont la cause de la majorité des explosions de grisou.

Il est hors de doute que l'emploi des lampes à feu nu doit être absolument proscrit dans les mines grisouteuses.

Il paraît résulter d'un examen détaillé des accidents produits

par les lampes de sûreté, qu'à l'exception de la lampe Davy, toutes ces lampes s'équivalent à peu près, *à la condition d'être très bien entretenues*. Les principaux défauts qu'elles peuvent présenter sont l'ouverture de la lampe, l'altération des toiles métalliques, la rupture du verre, le défaut de jonction des parties.

Fermeture des lampes. — Il est malheureusement prouvé qu'il ne faut pas compter sur le bon sens de l'ouvrier pour tenir sa lampe fermée; inconscient du danger qui le menace, lui et ses compagnons, aussi bien que la mine, il cherche toujours à l'ouvrir pour avoir plus de lumière, pour la rallumer sur place en cas d'extinction, pour allumer sa pipe, etc.

Les pénalités les plus sévères n'y font rien.

On a imaginé d'innombrables systèmes de fermeture des lampes qui empêchent absolument l'ouvrier de les ouvrir, ou bien qui, en cas d'ouverture, laissent une trace de la contravention commise, ou enfin qui, dans ce cas, déterminent l'extinction de la lampe[1].

Le système suivant, dû à M. Eug. Cuvelier et rentrant dans la première catégorie, nous paraît mériter la préférence. L'ouverture du verrou ne peut être obtenue que par la pression d'un fluide à l'intérieur d'un tube courbe fermé à ses extrémités et analogue au tube du manomètre Bourdon[2]. La haute pression nécessaire pour produire l'expansion de ce tube est fournie au moyen d'un appareil accumulateur, qui peut être placé dans la lampisterie ou tout autre endroit convenable, mais qui, dans tous les cas, ne peut se trouver à la disposition des ouvriers.

Sans faire choix officiellement d'un type déterminé, la circulaire ministérielle du 8 août 1890 prescrit « de ne remettre aux ouvriers, avant leur entrée dans la mine, que des lampes de sûreté fermées au préalable, de telle sorte que leur ouverture en service ne puisse avoir lieu sans rompre ou fausser tout ou partie des organes et sans en laisser des traces apparentes et aisément discernables ».

1. M. Janet, *Annales des mines*, 1889.
2. Voyez *Comptes rendus de l'industrie minérale*, 1885.

Extinction des lampes. — La lampe Clanny et la lampe Marsaut présentent peu de chances d'extinction fortuite; la lampe Davy est soufflée par un courant d'air un peu vif; la lampe Fumat, par les oscillations ou par un courant d'air ascendant, et la lampe Mueseler par une faible inclinaison.

On a imaginé divers systèmes qui permettent de rallumer les lampes sans les ouvrir : la lampe Wolf à benzine utilise à cet effet le choc d'un petit marteau sur une amorce; ce système de rallumage est très perfectionné dans la lampe Seippel. Dans les lampes à huile lourde, on remplace le choc par un frottement[1].

Détériorations. — Le verre, malgré sa fragilité apparente, ne nuit pas sensiblement à la sécurité des lampes, surtout si l'on a soin de n'employer que des verres recuits, que l'on obtient aujourd'hui d'une façon courante et qui permettent d'éviter tout accident.

Les détériorations des tamis sont plus difficiles à éviter; elles se produisent fréquemment dans le transport et sont dues au contact des outils ou à celui des crochets des lampes voisines. Aussi, pour les lampes à tamis apparent, est-il bon d'employer une double toile métallique. La lampe Marsaut par sa cuirasse, la lampe Fumat par sa cheminée métallique, échappent à cette détérioration. La lampe Mueseler, dont le diaphragme essentiel est complètement protégé, ne subit pas cette détérioration. Une autre avarie provient de l'élargissement des mailles de tamis, aussi faut-il doubler les toiles et surtout en employer de bonne qualité et bien régulièrement tissées.

L'absence d'un des organes de la lampe peut supprimer la sûreté; cet inconvénient est à craindre avec des cuirasses métalliques, si le lampiste ne prend pas le temps de vérifier soigneusement la présence de tous les organes.

Un défaut de jonction entre les organes est surtout à craindre avec les lampes à verre, qu'on ne peut pas fortement serrer de peur

1. M. Maurice Bellom, *Annales des mines*, 1890.

de rompre le verre. Une lampe mal jointe laisse naturellement passer l'inflammation quand on l'introduit dans une atmosphère inflammable. L'attache du diaphragme sur la cheminée, dans la lampe Mueseler, demande à être surveillée de près.

Lampisterie. — Chaque ouvrier a sa lampe; elle porte son numéro et doit lui être remise par les lampistes pleine, allumée et bien fermée. Le mineur doit la refuser, si elle lui paraît suspecte; il devient responsable dès qu'elle est en sa possession; le lampiste doit constater qu'elle est rendue fermée et signaler les détériorations. Il doit mettre au rebut les tamis dont une seule maille est brisée, nettoyer les tamis avec des lessives alcalines, des essoreuses et des brosses mécaniques, de manière à mettre à nu la surface du métal et à enlever les poussières et l'huile.

M. Boussingault a indiqué un moyen d'essayer si une lampe est bonne, en l'introduisant allumée dans un cylindre plein de vapeur de pétrole, où elle ne doit pas provoquer d'explosion.

Le mineur ne doit jamais laisser sa lampe dans le chantier, ni l'emporter à son domicile; l'absence d'une lampe à la lampisterie fait, par son numéro, connaître le nom d'un homme qui est dans la mine.

Il faut, en marchant, porter la lampe le bras allongé et ne pas l'agiter. Le mineur doit l'accrocher solidement aux parois, pour empêcher sa chute; baisser la mèche, dès que la flamme *marque,* c'est-à-dire dès qu'il voit une auréole bleue, indicatrice du grisou; l'éteindre tout à fait si la flamme tend à envahir la lampe, soit en plongeant la lampe dans l'eau, ou en l'étouffant avec les vêtements sans jamais souffler dessus, soit plus simplement en noyant la mèche dans l'huile. Il faut se retirer à tâtons, mais en bon ordre, quand l'extinction est devenue nécessaire, et avoir soin de toujours se courber pour respirer dans des couches d'air moins contaminées par le grisou.

Le pouvoir éclairant maximum des lampes est seulement le suivant, rapporté à la bougie de l'Étoile comme unité : la lampe Davy a pour pouvoir éclairant 0,18; la lampe Clanny belge, 0,65;

anglaise, 0,47 ; la lampe Mueseler 0,44 ; la lampe Marsaut à 2 treillis, 0,56, à 3 treillis, 0,46.

Les lampes précédemment décrites ont, comme nous allons le voir, l'avantage de permettre de reconnaître la présence du grisou ; la lampe électrique n'a pas cet avantage et, par suite, son emploi exclusif n'est pas recommandable, alors même qu'on parviendrait à en créer une parfaite.

RECHERCHE DU GRISOU

La lampe de sûreté fournit un excellent moyen de reconnaître la présence du grisou. MM. Mallard et Le Chatelier ont indiqué que la lampe Mueseler du type réglementaire belge présentait les aspects suivants, d'après le dosage volumétrique du grisou. La flamme s'allonge d'une façon à peine visible quand il y a 0,33 0/0 de grisou, et à 3 0/0 elle s'engage dans la cheminée. De plus, quand il y a du grisou, la flamme s'entoure d'une auréole bleue qu'on rend plus visible en baissant la mèche à 3 millimètres et en cachant avec le doigt le corps de la flamme. Avec 2 0/0, l'auréole a 6 millimètres de hauteur ; avec 6 0/0, elle gagne la cheminée et la lampe s'éteint presque périodiquement ; avec 7 0/0, elle s'éteint complètement.

Malheureusement la présence d'une certaine quantité d'acide carbonique peut masquer les indications des lampes ; de plus, on ne peut approcher la flamme de la lampe à moins de $0^{m},20$ du plafond, et c'est précisément la région la plus redoutable. Si le grisou ne marque pas à la lampe, il peut suffire d'une faible augmentation dans sa proportion, ou bien de poussières charbonneuses, pour rendre une explosion possible.

M. Steavenson a conseillé d'adapter à la lampe un verre bleui au cobalt afin de mieux voir l'auréole bleue du grisou. MM. Delon frères ont, dans le même but, proposé de masquer le corps de la flamme avec un petit écran. MM. Mallard et Le Chatelier ont ima-

giné un petit écran mobile très pratique; ils projettent la flamme sur un fond noir, l'observent à la loupe; ils peuvent, par ce procédé, apprécier la présence du grisou jusqu'à 0,25 0/0.

En remplaçant l'huile de la lampe par de l'alcool, comme l'a indiqué la commission française du grisou, on a des auréoles beaucoup plus hautes, très pâles il est vrai, mais appréciables dès 0,25 0/0 de grisou. La lampe Pieler, qui repose sur ce principe, est dès maintenant répandue. La grande inflammabilité de la vapeur d'alcool exige l'emploi de certaines précautions dans son maniement, notamment celle de se faire précéder à distance dans les chantiers par une lampe ordinaire, capable de déceler des teneurs de grisou, où il serait dangereux de maintenir longtemps la lampe Pieler ordinaire. L'adjonction d'un second tamis et d'une cuirasse augmente d'ailleurs considérablement la sécurité de son emploi.

A l'heure où nous écrivions ces lignes (novembre 1891), M. Chesneau préparait un nouvel indicateur de grisou, fondé sur la longueur de la flamme d'une lampe Pieler, notablement modifiée, mais il était gêné par la sensibilité de son appareil aux variations thermométriques.

Malheureusement ces appareils ont l'inconvénient de relacher les maîtres mineurs de la surveillance qu'ils doivent exercer.

Citons encore l'appareil, un peu compliqué, de Thomas Shaw [1]. Sur un courant de gaz aspiré d'un point de la mine, on prélève des échantillons, on les mélange avec une proportion connue d'air pur ou d'hydrogène protocarboné pur, et on les envoie dans un cylindre, où une flamme les fait détoner, s'il y a lieu. Dans ce cas, la dilatation pousse un piston qui fait résonner un timbre.

Il est utile de visiter la mine avant l'entrée des ouvriers pour reconnaître les chantiers dangereux, notamment après un chômage; à cet effet, il est bon, comme à Bessèges, d'arrêter le ventilateur et, avant l'entrée du personnel, de *tâter le pouls de la mine*.

1. M. Bayard, *Annales des mines*, 1891.

Grisoumètres. — L'appareil d'Orsat, qui convient bien dans un laboratoire, est d'un emploi trop compliqué dans les mines; il permet de doser l'oxygène, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, l'acide carbonique et les hydrocarbures.

Un des grisoumètres les plus appréciés est l'indicateur de grisou Coquillon[1]; il mesure le grisou à partir de 0,25 0/0, il est basé sur la propriété que possède un fil de platine ou de palladium, chauffé au rouge blanc par un courant électrique, de brûler complètement tout gaz combustible, mélangé à une grande quantité d'oxygène ou d'air.

COUPS DE GRISOU

La mortalité totale qui provient dans les mines des explosions du grisou est relativement très restreinte. En France, 808 accidents survenus de 1817 à 1884 ont tué 1520 personnes et en ont blessé 1334. Cependant ces accidents frappent vivement l'opinion publique, quand ils font à la fois un grand nombre de victimes. Nous pourrions déjà citer 24 accidents, survenus depuis 1835 et ayant tué chacun de 100 à 361 personnes, sans parler des chevaux.

Les causes des coups de feu sont nombreuses : irrégularité dans le fonctionnement du foyer d'aérage, explosion d'une chaudière intérieure, tirage d'un coup de mine, apparition soudaine du grisou dans les mines éclairées par des lampes à feu nu, ouverture d'une lampe de sûreté, sortie de la flamme occasionnée par un courant d'air, déchirure du tamis d'une lampe, allumette enflammée malgré les règlements, une pipe allumée, présence d'un feu extérieur embrasant le gaz dont la déflagration redescend ensuite dans le puits, etc.

L'inflammation à la surface d'un très fort dégagement de gaz a produit la catastrophe du puits de l'Agrappe, à Frameries (couchant de Mons), le 17 avril 1879; il s'est dégagé par ce puits un

1. *Visites faites à l'Exposition par le Congrès international des mines et de la métallurgie.*

volume de 500 000 mètres cubes de grisou, dont l'inflammation s'est produite sur un poêle de la salle des machines et a formé, pendant deux heures un quart une flamme superbe et terrible de $3^m,60$ de diamètre et de 40 mètres de hauteur. La vitesse de cette gerbe de grisou a atteint 4 à 5 mètres par seconde; quand elle s'est ralentie, l'air est rentré dans la mine en formant des mélanges détonants et à causé sept explosions consécutives dont la dernière, très violente, a eu lieu quatre heures après le commencement du dégagement. Cette catastrophe a coûté la vie à 121 personnes [1].

Dans la terrible catastrophe d'Oaks-Colliery, le 12 décembre 1866, sur 340 ouvriers présents dans la mine, une première explosion en tua 320 et en blessa mortellement 14. Le 13 au matin, 2 explosions se produisirent : 27 ouvriers furent brûlés; 17 autres explosions se succédèrent jusqu'au 18 décembre, et on ne rentra dans la mine que longtemps après, lorsque tous les incendies souterrains furent éteints par le défaut d'oxygène [2].

Les effets des coups de feu sont les suivants: les hommes sont brûlés, projetés et brisés contre les parois, ou bien asphyxiés. On leur recommande, s'ils ont le temps de voir venir la flamme, de se coucher sur le ventre, la figure dans l'eau ou dans la boue, de manière à ne pas *avaler le feu,* qui désorganise l'intérieur des poumons. L'asphyxie peut être occasionnée par les poussières brulantes qui envahissent la gorge et amènent la suffocation. Parfois, la mort est rigoureusement instantanée [3] : elle semble être produite par un afflux de sang au cœur, venant de l'énorme pression exercée dans les poumons. Ceux qui survivent à une explosion sont quelquefois empoisonnés par l'oxyde de carbone qu'elle a produit. Les affres qu'éprouvent les mineurs dans ces terribles circonstances leur font souvent perdre la mémoire, et même la raison.

1. MM. Mallard et Vicaire, *Annales des mines,* 1879.

2. Voir, dans le *Cours d'exploitation des mines* de M. Haton de la Goupillière, le récit pathétique de cet épouvantable accident.

3. Des ouvriers ont été retrouvés dans l'attitude même du travail. Dans d'autres cas, la mort a été assez lente pour que les hommes aient pu laisser quelques lignes de leur écriture.

Les dégâts causés à la mine sont considérables. Les boisages sont renversés, des éboulements en sont la conséquence, les portes et les cloisons sont renversées ou détruites, le foyer d'aérage, le ventilateur sont disloqués. Les soufflards continuant à rester allumés, une nouvelle explosion est inévitable, si le grisou continue à envahir la mine. Les guidonnages sont souvent déviés et la descente par cage devient impossible. De plus, la fumée et les flammes obstruent l'entrée du puits.

Des mesures préalables sont du reste prises pour faciliter au moment de l'explosion les moyens de sauvetage.

On peut disposer, près des portes importantes, une cloison très légère, suspendue au plafond par un piquet et mobile autour d'un axe horizontal. Le coup de feu emportera la porte et le piquet également; par suite, la cloison tombera pour produire la fermeture.

M. Verpilleux a créé un système ingénieux, qui a pour but d'empêcher la propagation des explosions; deux lourdes portes, placées à une faible distance l'une de l'autre, s'ouvrent en sens contraire, des ressorts ou des contrepoids les maintiennent rapprochées des parois. Qu'une explosion survienne d'un côté ou de l'autre, une des portes fermera le passage, de manière à former une barrière au courant dévastateur. Par suite du refroidissement et de la condensation de la vapeur d'eau, il se produira un vide ; la porte fermée se rouvrira et la seconde se fermera.

Les échelles verticales établies dans les puits ne risquent pas trop d'être enlevées ; quand elles existent, elles facilitent considérablement le sauvetage. On recommande l'établissement, près des puits, de dépôts de brancards, de pharmacies portatives, etc. On indique aussi aux mineurs les endroits de refuge sur lesquels, en cas d'accident, on dirigera le sauvetage; on a même proposé d'établir à ces places des dépôts de vivres et des communications téléphoniques.

SAUVETAGE

La direction de cette opération, consécutive à tout accident de mine, demande naturellement des connaissances techniques ; mais elle réclame avant tout beaucoup de courage, une constante présence d'esprit et une calme et ferme volonté. Notre camarade et ami, M. Soubeiran, en dirigeant un sauvetage après un éboulement survenu le 17 octobre 1884, aux houillères de Bully-Grenay, n'a pas hésité un seul instant à faire couper la jambe à un mineur qui venait d'expirer sous ses yeux ; il a pu ainsi arracher aux éboulis son cadavre qui obstruait le passage, atteindre un autre mineur et le retirer vivant. Le ministre des travaux publics l'a justement félicité « du courage et de l'intelligente initiative » dont il a fait preuve en cette pénible circonstance.

Dans un sauvetage, il faut de la prudence pour éviter de greffer un accident sur un autre ; cependant si, en pressant, on a des chances de retrouver une ou plusieurs victimes vivantes, on doit, dans une certaine mesure, sacrifier la prudence à la rapidité.

Le premier soin à prendre après une explosion de grisou consiste à rétablir l'aérage. On fait tomber, par exemple, une pluie artificielle dans le puits d'entrée d'air, et on envoie au bas du puits de sortie la vapeur des générateurs ; on active la marche des ventilateurs, s'ils n'ont pas été détruits ou disloqués. Les ingénieurs et les maîtres mineurs descendent alors dans le puits avec le reste du personnel, ou avec des volontaires des mines voisines : les hommes dévoués abondent toujours en pareil cas. On descend comme on peut, par des échelles s'il en existe, par les cages si elles ont été respectées, ou par des bennes libres qui se glissent plus facilement dans les guidonnages déviés. On pénètre en suivant la marche du courant d'air, on déblaie les galeries et on rétablit les portes et les barrages. Dans certains cas, il faudra éviter l'envoi d'air susceptible de produire des mélanges explosifs. On peut aussi employer des

lessives de soude, de l'eau de chaux ou de la chaux caustique en poudre, pour absorber l'acide carbonique.

Appareils respiratoires. — Ces appareils, qui permettent de pénétrer dans des milieux irrespirables, sont nombreux : nous ne saurions en donner une description complète. Le plus ancien, 1785, est dû à Pilâtre de Rozier.

L'appareil Regnard (fig. 100) réalise la revivification de l'air sortant des poumons, au moyen de réactifs très simples dont l'approvisionnement assure un assez long fonctionnement. Cet appareil est portatif. Il comprend un sac A en caoutchouc rempli d'oxygène par le robinet B. Le bouchon C, ordinairement fermé, est ouvert au moment où l'on veut se servir de l'appareil; il fait rentrer l'air autour de l'outre qui se vide progressivement par l'écoulement de son oxygène. Celui-ci se rend par le robinet D dans le compartiment E rempli de pierre ponce imbibée de potasse caustique et en relation avec le ferme-bouche G, au moyen d'un double tube muni de deux soupapes I et I′ et d'un robinet J, qu'on ouvre au moment où la respiration commence. L'air afflue par I, les gaz sont évacués par I′ et arrivent à la partie inférieure de la pierre ponce, traversent la colonne alcaline et rem-

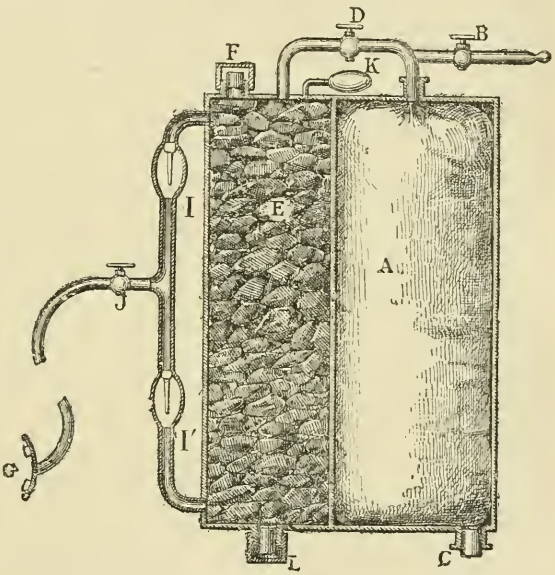


Fig. 100. — Appareil respiratoire du docteur Regnard.

plissent le vide créé par l'appel des poumons à la partie supérieure; l'acide carbonique est absorbé et la vapeur d'eau fixée, l'azote seul arrive en haut avec ce qui reste d'oxygène et, en se mélangeant à de l'oxygène arrivant par le tube D, forme de l'air respirable ; grâce à une poche K qui s'enfle ou se dégonfle, l'intérieur de l'appareil reste à la pression atmosphérique.

L'appareil Fleuss comprend un masque, un cylindre à oxygène comprimé à seize atmosphères, un coussin à air et une caisse filtrante à étoupe et à potasse caustique. Il peut alimenter la respiration d'un homme pendant plus de deux heures.

Soins aux victimes. — Les soins à donner aux victimes ont été prescrits par le docteur Regnard [1]. La décomposition très prompte des cadavres des victimes du grisou nécessite des précautions particulières pour leur transport. C'est, en tout cas, un devoir absolu de ramener morts ou vifs tous ceux qui ont disparu et dont l'absence est signalée par la lampisterie.

Le spectacle qu'offre ce sauvetage est un des plus lugubres que l'on puisse imaginer, mais ces terribles circonstances permettent aux hommes de cœur de mettre en œuvre leurs plus nobles qualités.

ACCIDENTS DIVERS

Indépendamment du grisou, les mines sont exposées à des accidents de diverses sortes : *incendies*, *inondations*, *dégagements d'acide carbonique, éboulements*, etc., qu'il nous reste à étudier, pour achever le présent chapitre.

Incendies. — L'incendie d'une mine est particulièrement redoutable quand la matière est combustible (houille, soufre, pyrite, cinabre, etc.). Il peut être causé fortuitement par la chute d'une lampe ou d'une flammèche sur la paille d'une écurie, ou par un coup de mine débourré, un soufflard allumé par une explosion de

1. Annexe au rapport de la Commission française du grisou.

grisou, les étincelles d'un foyer d'aérage ou d'une chaudière intérieure d'une disposition défectueuse, etc.

Le travail considérable produit par la descente des terrains sur les remblais ou par un éboulement peut développer une chaleur assez intense pour mettre le feu à des houilles inflammables.

L'oxydation lente des pyrites ou des substances organiques associées à la houille peut, par la chaleur dégagée, produire un incendie. La condensation de l'air dans les poussières de charbon amène un échauffement susceptible de dégénérer en embrasement.

Pour écarter les chances d'un incendie des mines à matières combustibles, il faut avant tout enlever ces matières en les fatiguant le moins possible; on doit aussi empêcher l'arrivée de l'air dans les vieux travaux, qui retiennent toujours une certaine proportion de matières inflammables.

Si néanmoins le feu se déclare, il faut lutter avec énergie, pour arrêter sa propagation, par la méthode de *l'arrachage*, en employant, ce qui est toujours facile dans les profondeurs souterraines, des lances d'eau sous pression. On avance progressivement par barrages successifs et par recoupes étroites, en attaquant de préférence le feu par dessous.

Quand il ne se produit qu'un échauffement relativement faible, on envoie le plus d'air possible comme réfrigérant; si le feu devient plus rapide que l'arrachage, on doit l'étouffer au moyen de barrages en briques dont on aveugle les fissures avec de l'argile.

Quelquefois il faut faire la part du feu; on enlève alentour la matière que l'on remplace par un remblai argileux étanche; l'incendie peut alors durer plusieurs siècles.

L'un de nous est passé à Belmez (Espagne) dans une galerie muraillée au milieu d'un incendie. De temps en temps, on pratiquait dans le muraillement des saignées, par où on faisait couler un peu de coke enflammé, et on les bouchait avec de l'argile mouillée.

Si l'incendie se généralise, il faut calfeutrer tous les débouchés, ou remplir la mine de vapeur d'eau ou d'acide carbonique.

On produit celui-ci dans les fours à coke, ou par l'action sur la craie de l'acide chlorydrique.

L'injection dans les trous de sonde d'eau argileuse peut arrêter l'incendie en bouchant les fissures. Une inondation de la mine peut être très utile; à cet effet, on arrête les machines d'épuisement, ou bien on établit un serrement dans les galeries d'écoulement. Dans certains cas on détourne un cours d'eau que l'on fait entrer dans la mine. Les chantiers d'Almaden ont été noyés en 1758, pour arrêter un incendie qui durait depuis deux ans et demi.

Malheureusement, il arrive qu'après avoir retiré les eaux, l'incendie se ranime : c'est ce qui s'est produit à la Malafolie (Firminy), où, après dix-sept ans d'immersion, la mine s'est retrouvée en feu une heure après l'épuisement.

Il est particulièrement difficile de combattre les incendies dans les mines grisouteuses. Un incendie favorise le dégagement du grisou et rend difficile la ventilation ; de plus, des soufflards peuvent rester allumés, quand on croit être arrivé à l'extinction, et produire de nouveaux incendies.

Inondations. — L'inondation d'une mine peut être due à l'introduction d'un cours d'eau superficiel, d'une nappe souterraine circulant dans une couche perméable située entre deux autres couches imperméables, ou bien d'eaux accumulées dans de vieux travaux.

Pour prévenir ces coups d'eau, on doit éclairer l'avancement des travaux à l'aide de trous de sonde pratiqués en divergeant en avant et sur les flancs. Si ces trous de sonde rencontrent la masse d'eau, elle sortira, mais d'une manière incomparablement moins dangereuse que par l'écroulement de la paroi, ou à la suite d'un coup de mine. Ces trous de sonde varient de 5 à 10 mètres ; on a soin d'établir en arrière, à une certaine distance, un barrage, dont nous avons indiqué le mode d'exécution. Dès que l'eau arrive, on bat en retraite et on s'empresse de clore le barrage, en établissant derrière lui un serrement étanche.

Les ouvriers, fuyant devant une inondation souterraine, doivent se sauver rapidement et toujours en montant. Ils peuvent presque impunément séjourner au fond d'un cul-de-sac montant, où la pression de l'air arrête les eaux. Le mineur emprisonné ainsi, en frappant à intervalles de grands coups, se fait entendre par les ingénieurs chargés du sauvetage, qui cherchent toujours à déboucher dans ces culs-de-sac montants, connus d'après les plans.

Il faut ne pas établir une brusque communication entre ces cloches d'air et l'extérieur, car elles seraient violemment envahies par les eaux ; de plus, l'échappement de cette masse d'air comprimé serait capable de briser les ouvriers contre la paroi ; on crée une chambre voisine dans laquelle on comprime de l'air et on arrive à communiquer avec les ouvriers en péril ; le plus tôt possible, il faut se préoccuper de leur faire parvenir des liquides alimentaires à l'aide de trous de sonde.

M. Haton de la Goupillière relate un curieux procès-verbal du 1er août 1664, relatif à un coup d'eau du charbonnage de Crèvecœur (Hainaut), dans lequel 5 ouvriers restèrent emprisonnés pendant près de 25 jours. A la mine de Lalle, près de Bessèges, après une inondation (1861) qui a noyé 109 mineurs [1], M. Parran, ingénieur en chef des mines, a pu cependant en sauver 6 après 14 jours. Signalons, en terminant, le sauvetage de la mine de Tynewidd, en 1877, inondée par la rencontre de vieux travaux ; l'ingénieur, M. Galloway, a réussi, malgré de grandes difficultés [2], à retirer vivants 5 mineurs au bout de 7 jours.

La reprise des mines noyées est des plus délicates. Dans la concession de Marles, on a dû y renoncer et ouvrir une nouvelle fosse. Plus heureux, après le coup d'eau de Douvrin (Pas-de-Calais), M. Reumaux a pu mener à bien, dans ces dernières années, un travail d'aveuglement qui lui fait le plus grand honneur [3].

1. La cause de cet accident avait été une crue subite d'une rivière et l'effondrement du sol d'une prairie.
2. M. Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation des mines*, t. II.
3. Société industrielle de Lille (séance du 23 février 1884).

Le scaphandre, perfectionné et simplifié par M. Fayol, rend de réels services pour les réparations de travaux ou d'appareils noyés. On est arrivé également à faciliter ces travaux par d'intéressants moyens d'éclairage sous l'eau ; dans les eaux très troubles, l'emploi d'un éclairage à la lumière Drummond (proposé par MM. Barnet et Poster) ou à la lumière électrique paraît pouvoir donner d'heureux résultats.

Dégagements d'acide carbonique. — A la suite de l'inondation de la mine, nous plaçons son envahissement par l'acide carbonique. Le dégagement de ce gaz irrespirable, déjà cité au chapitre IX, acquiert parfois des proportions considérables. Au puits Fontanes, le 25 avril 1885, un accident de cette nature a coûté la vie à 5 ouvriers [1]. Vu l'abondance et la violence du dégagement, M. l'ingénieur en chef de Castelnau pense que l'acide carbonique doit être originairement à l'état liquide dans la houille. Nous serions plutôt porté à croire qu'il y était occlus à l'état solide.

Éboulements. — L'effondrement des mines est le plus grave accident qui puisse y survenir, et les éboulements sont de beaucoup les accidents les plus fréquents.

L'effondrement total est généralement dû à un mauvais aménagement des travaux, ou plus rarement, comme dans une mine de cuivre de Cuba, en 1852, aux effets d'un tremblement de terre.

Ces accidents, dont quelques-uns sont demeurés célèbres, font parfois de très nombreuses victimes.

Menus accidents. — Les accidents suivants, qui échappent à l'attention publique, parce qu'ils n'atteignent généralement à la fois qu'un ou deux ouvriers, sont cependant les plus terribles en raison de leur extrême fréquence : chute d'une partie du toit sur l'ouvrier, rupture d'un câble d'extraction, chute d'un ouvrier dans un puits, rencontre d'un homme par une berline dans un plan incliné, coup de mine maladroitement tiré, etc., etc.

Quelques accidents arrivés dans les puits sont célèbres, et des

1. M. de Castelnau, *Annales des mines*, 1887.

sauvetages remarquables ont été réalisés. Le puisatier Giraud a été retiré vivant au bout de 30 jours, mais il n'a pu ultérieurement résister à cette horrible épreuve. Le puisatier Prevost, enseveli à une profondeur de 25 mètres, a été sauvé au bout de 20 jours et, plus heureux, a vécu.

LÉGISLATION DES ACCIDENTS

Le corps des mines a pour mission principale d'éviter les accidents en veillant à la sécurité, conformément au décret du 3 janvier 1813. M. Le Chatelier dit excellemment, dans un article publié le 30 octobre 1890 par la *Revue générale des sciences pures et appliquées*, que la sécurité d'une mine est et « sera toujours, quelque découverte que l'avenir nous réserve, à la merci de l'ingénieur qui dirige son exploitation ». Il aurait pu ajouter « et de celui qui la contrôle ».

Le service des mines soumet à l'approbation préfectorale, pour les mines grisouteuses, des règlements détaillés qui interdisent aux ouvriers de fumer et d'ouvrir leurs lampes, qui autorisent les surveillants à fouiller les ouvriers pour s'assurer qu'ils n'ont ni allumettes, ni pipe, ni tabac, ni clefs, ni instrument pour ouvrir leurs lampes, qui accordent à l'ouvrier obligé de quitter son chantier envahi par le grisou le prix de sa journée, et qui détaillent les mesures préventives que nous avons indiquées plus haut. *Toute contravention à ces règlements expose les ouvriers à des poursuites correctionnelles, quoiqu'il n'en résulte aucun accident.*

Même au prix de la surveillance la plus active, le corps des mines ne peut pas empêcher absolument tout accident. Chaque fois qu'il en survient un, qui cause à un ouvrier une incapacité de travail de plus vingt jours, l'ingénieur du corps des mines, prévenu par l'exploitant, se rend immédiatement sur les lieux, ou y envoie un de ses agents, contrôleur des mines. L'enquêteur reçoit les témoignages plus ou moins intéressés de toutes les personnes qui

peuvent le renseigner, il examine surtout avec le plus grand soin les témoins matériels, il s'efforce de reconstituer les circonstances de l'accident et dresse du tout un procès-verbal.

A la suite de ce procès-verbal, l'ingénieur du corps des mines donne son avis sur les causes de l'accident, et propose, s'il y a lieu, des poursuites par application des articles 319 ou 320 du code pénal (homicide ou blessure par maladresse, imprudence, inattention, négligence ou inobservation des règlements). Ce procès-verbal est transmis par l'ingénieur en chef des mines au procureur de la république avec son avis. Une autre expédition, proposant en outre, s'il y a lieu, des suites administratives, est adressée au ministre des travaux publics, qui le fait examiner par le conseil général des mines, qui statue sur les suites administratives, et qui rectifie, s'il y a lieu, les avis des ingénieurs.

La responsabilité civile des exploitants à l'égard des victimes ou de leurs familles est toujours mise en jeu, en même temps que leur responsabilité correctionnelle, ou celle de leurs agents ; elle peut aussi être engagée dans les cas purement fortuits que la prudence humaine est impuissante à éviter, mais la jurisprudence n'est pas encore nettement établie à cet égard ; le seul cas où cette responsabilité n'est pas reconnue est celui où l'accident a eu pour unique cause l'imprudence de la victime ou sa désobéissance aux règlements.

La loi des délégués à la sécurité des ouvriers mineurs, dont nous avons dit un mot au chapitre Ier, a pour but de diminuer dans une plus grande mesure le nombre et la gravité des accidents.

CHAPITRE XII

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS

Il nous reste encore à faire connaître une opération accessoire très importante qui se rattache à l'industrie des mines. Les diverses matières extraites du sein de la terre ne sont généralement pas susceptibles d'être livrées directement à l'industrie ou à la métallurgie; elles sont mélangées de substances étrangères, dont elles doivent être séparées par un lavage et une préparation mécanique, qui feront l'objet de ce chapitre.

La séparation du stérile et de la matière utile se fait, le plus souvent, par l'action de l'eau, en utilisant la différence de densité des substances ou quelquefois en mettant à profit les propriétés magnétiques de certains minerais. Cette séparation fournit une ou plusieurs catégories de matières utiles marchandes, des stériles, dont il faut se débarrasser, et des matières mixtes, qui ont besoin de subir un nouveau traitement.

Le traitement peut se diviser généralement en trois opérations :

1° Le *broyage*, qu'il faut exécuter, quand le stérile et l'utile se trouvent dans les mêmes morceaux;

2° Le *classement par grosseur*, pratiqué à sec ou au sein de l'eau;

3° Dans chaque catégorie, le *classement par densité*, qui constitue l'opération proprement dite du lavage. Ce classement est obtenu par la chute dans l'eau, par l'écoulement sur une surface solide ou au moyen de vibrations.

Tous les appareils qui réalisent ces diverses opérations sont

fondés sur ce principe que les forces, qui agissent sur une grenaille placée au sein de l'eau, dépendent, suivant des lois différentes, de sa grosseur et de sa densité[1]. Ces appareils séparent les matières plus ou moins exactement, suivant leur densité, lorsqu'elles ont d'abord été soumises à un premier classement par grosseur.

Les appareils qui traitent les minerais de fer sont plus simples, par suite du bas prix de la matière préparée. Pour les minerais d'or natif, on emploie des appareils spéciaux, à cause du prix élevé du métal, de sa grande densité et de l'extrême ténuité de ses paillettes. Le lavage de la houille ne porte que sur les menus; les appareils en usage traitent à bas prix de grandes quantités de matière, en utilisant la légèreté de la houille comparée à ses impuretés. L'anthracite n'a pas besoin d'être lavé, mais il faut le classer très soigneusement par grosseur. La tourbe a, en général, seulement besoin d'être desséchée.

MINERAIS MÉTALLIQUES

Les principaux minerais métalliques ont les densités approximatives suivantes :

Galène	7,6	Pyrite de fer	4,9
Wolfram	7,5	Pyrite de cuivre	4,2
Étain oxydé	7,0	Blende	4,0
Mispickel	6,2	Etc.	

Les gangues, qui les accompagnent, n'ont que les densités suivantes :

Sulfate de baryte	3,6	Quartz	2,6
Carbonate de chaux	2,7	Etc.	

1. La théorie de quelques-uns de ces appareils a été donnée par M. Henry, dans un excellent mémoire inséré aux *Annales des mines* de 1871; par M. Moreau, dans le *Génie civil* (laveur Bazin), et par M. Haton de la Goupillière, qui a remanié la théorie du laveur Bazin. M. Badoureau a présenté une théorie assez complète des appareils de lavage, qui a paru dans les *Annales des mines* de 1885, et à laquelle nous renvoyons les lecteurs tant soit peu exercés au maniement du calcul intégral.

Il faut commencer, dans le chantier de la mine, par concasser grossièrement le minerai et par le trier, en se contentant d'éliminer le stérile, qui reste comme remblai. Au jour, on procède, sur le minerai sorti, à un triage avec concassage au marteau, qui constitue le *scheidage*, au broyage, au classement par grosseur, et enfin au lavage : ces opérations donnent, nous l'avons déjà dit, du minerai bon à fondre, du stérile et du mixte, qui repasse aux appareils laveurs après avoir été broyé plus finement.

Suivant leur grosseur, on donne aux morceaux de minerai, sortis de la mine ou broyés, les noms suivants :

Têtes. . .	200 millimètres environ.		Grenailles .	10 millimètres environ	
Poings.. .	100	—	Sables. . .	3	—
Noix . . .	40	—	Schlichs. .	1	—
Noisettes .	20	—	Schlamms..	Impalpables.	

Séparation du menu et concassage du gros. — Le gros et le menu sont, dans certains cas, séparés dans le fond et sortis successivement; lorsque, comme d'habitude, il n'en est pas ainsi, il faut d'abord exécuter cette séparation au jour. Il suffit de renverser le wagon en haut d'un plan peu incliné : le gros tombe au bas, le menu reste à la partie supérieure; on peut aussi renverser le contenu des wagons sur une grille inclinée, qui laisse passer le menu. Le refus de la grille passe sur une grille mobile par secousses, où les morceaux se nettoient par leur frottement les uns contre les autres; en cas de besoin, on complète le nettoyage par un courant d'eau rapide. Après un bon nettoyage, on envoie les gros à l'aire de cassage, qui doit avoir un sol bien uni. On peut employer, l'un après l'autre, deux marteaux ébaucheur et finisseur, mais on fait généralement plutôt usage du concasseur américain, qui a l'avantage de donner moins de menu.

Le concasseur américain (fig. 101), appelé aussi *crocodile* ou dégrossisseur, fonctionne comme une mâchoire. Sur la figure, la pièce représentée à gauche constitue un plateau contre lequel les matières seront comprimées par une mâchoire mobile présentant une légère courbure; cette mâchoire se rapproche et s'éloigne

alternativement du plateau fixe. Les matières versées dans une trémie sont broyées entre le plateau et la pièce mobile et réduites à une dimension suffisante pour passer par l'ouverture inférieure. La mâchoire mobile est actionnée par une machine à vapeur, au moyen d'un genou et de courtes bielles munies d'articulations libres; les charnières ordinaires seraient rapidement encrassées. Une tige à ressort rappelle la mâchoire mobile en arrière, lorsqu'elle n'est plus repoussée par le genou. L'ouverture inférieure fixe la dimension maximum des fragments débités; on règle cette ouverture à l'aide d'un coin à vis, qui déplace le point d'appui du genou et, par suite, limite la course inférieure de la mâchoire mobile. La résistance à vaincre étant intermittente, il est bon de régulariser la marche de l'appareil au moyen d'un lourd volant.

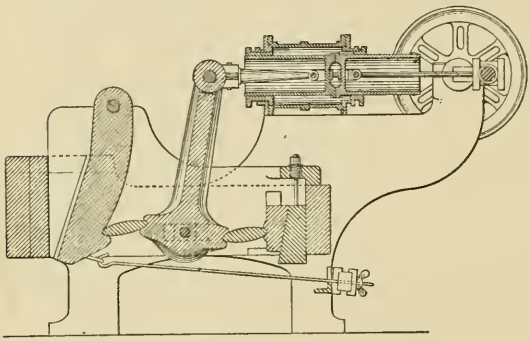


Fig. 101. — Concasseur américain.

Les morceaux broyés tombent sur une grille inclinée et sont débarrassés des poussières adhérentes par les procédés que nous avons fait connaître plus haut.

Le concasseur américain traite des morceaux d'environ $0^m,40$ qu'il descend à $0^m,05$.

Klaubage et scheidage. — Les morceaux concassés subissent ensuite les opérations du klaubage et du scheidage[1].

Le klaubage est un simple triage à la main, fait par les ouvriers assis devant une table fixe ou tournante.

1. De l'allemand klauben, éplucher, et scheiden, séparer.

Le scheidage, qui consiste en un triage au marteau, est une opération capitale, qui demande des ouvriers habiles et très soigneux, mais pouvant être faibles.

Les outils de scheidage sont : des massettes en fer de $1^{kg},500$ à 2 kilogrammes, des marteaux aciérés de 1 kilogramme à $1^{kg},200$ présentant une extrémité carrée et l'autre à tranchant transversal, et des raclettes ou grattoirs.

Les morceaux se manient aisément et sont nettoyés de manière à montrer les différentes espèces minérales qui les composent. Cet atelier, autrefois très sacrifié, est aujourd'hui mieux aménagé, aussi bien dans un but d'humanité que dans l'intérêt de la bonne conduite de l'opération; il doit être clos et couvert, bien éclairé, chauffé en hiver, le sol est pavé en pierres plates et bien uni. Les ouvriers, assis devant la table de scheidage et ayant à leur portée un robinet pour arroser les morceaux de minerai, sont l'objet de la surveillance continue d'un contremaître. Ils prennent successivement chaque morceau dans la main gauche, l'examinent, le cassent avec la panne carrée ou le tranchant, et distribuent les fragments dans divers paniers placés à leur portée. Un panier renferme le minerai bon à fondre, un autre le stérile à rejeter, un troisième les matières à soumettre au broyage.

Débourbage. — Les menus sont traités dans des débourbeurs, où ils subissent un premier classement par grosseur.

On a usité d'abord, à cet effet, des appareils très variés, mais ils sont tous aujourd'hui remplacés par des *trommels*. Un trommel est un cylindre ou un tronc de cône, tournant autour de son axe horizontal ou un peu incliné, et dont la surface est formée de tôles perforées. La longueur du trommel varie de $1^{m},50$ à 3 mètres, son diamètre de 1 mètre à $1^{m},50$; sa vitesse de rotation est de 8 à 12 tours par minute. On fait passer dans l'intérieur un fort courant d'eau; lorsque le minerai est argileux, on arme l'intérieur de l'appareil de poignards, destinés à la désagrégation de l'argile.

Le trommel débourbeur de Corphalie (fig. 102) est également classeur. Il comprend deux troncs de cône accolés par leur grande

base et ayant un axe commun horizontal : le premier, beaucoup plus raccourci reçoit le minerai avec une grande quantité d'eau par une ouverture étroite; dans le second, le minerai est obligé de monter le long des génératrices et y est débourbé au moyen des poignards intérieurs; l'orifice de sortie est plus grand que celui d'entrée; le minerai sort sous l'effort de celui qui entre. A la sortie, les substances passent sur une tôle perforée de trous de 3 millimètres environ, et ce qui reste sur cette tôle passe sur une grille dont les barreaux sont espacés de quelques centimètres. Le refus est classé à la main par des femmes ou des enfants, sur une table horizontale tournante, et les grains qui traversent sont classés par grosseur dans un trommel à trous de plus en plus gros.

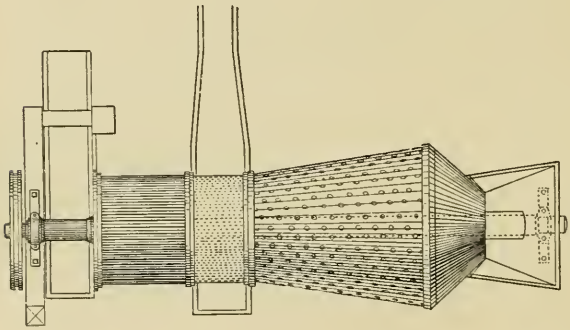


Fig. 102. — Trommel débourbeur.

Un trommel débourbeur ordinaire traite de 25 à 35 tonnes par jour, en consommant de 6 à 10 mètres cubes d'eau et en employant une force de 1 à 3 chevaux.

Broyage. — Les morceaux de minerai de composition mixte, qui résultent de l'opération du scheidage, sont soumis à un broyage au moyen d'appareils divers : cylindres, bocards, meules, concasseurs.

Les cylindres employés sont actuellement lisses : l'un d'eux seul reçoit le mouvement de la machine; par suite de l'adhérence du minerai saisi et écrasé, l'autre cylindre possède un mouvement équivalent. Ces cylindres sont en fonte et recouverts de bandages en fonte moulée en coquille ou en acier fondu, présentant à l'in-

térieur une forme légèrement conique, de manière à serrer énergiquement le corps du cylindre. La fonte moulée en coquille acquiert à la surface des inégalités sans inconvénient, quand il s'agit de broyer du gros; pour le fin, on préfère l'acier fondu, que l'on peut redresser au tour. L'écartement des cylindres n'est pas invariable; ils se rapprochent au moyen d'un contrepoids, d'un ressort en caoutchouc ou de rondelles en acier, qui pressent sur le coussinet; les cylindres peuvent par suite s'écarter, s'il se présente un objet quelconque gros et dur. Ces cylindres, autrefois longs et minces, se font aujourd'hui gros et courts. Le diamètre du cylindre est proportionnel au diamètre des matières à broyer; en général, il ne dépasse pas $0^m,80$, la longueur étant environ moitié. Les cylindres broient bien les morceaux tendres sans donner de poussières.

Les bocards, dont l'invention semble due à Sigismond de Maltys, en 1505, broient très fin et conviennent très bien pour les minerais disséminés à l'état de grande finesse dans la gangue; de plus, les parties plus dures peuvent rester indemnes et être séparées par un simple classement par grosseur. Un bocard est constitué par une batterie de quatre à huit flèches ou pilons, qui sont successivement soulevés et abandonnés par les cames[1] d'un arbre tournant, agissant sur leurs mentonnets; ces pilons écrasent, par leur chute, la matière contenue dans des auges en partie fermées. Le mouvement des flèches est guidé par un bâti formé de robustes madriers en bois disposés verticalement; on les consolide au moyen d'étais et on les relie par des solives; on a soin de réserver à 1 mètre au-dessus de l'auge et à la partie supérieure des espaces libres pour le passage des pilons. Ceux-ci sont constitués de poutres en bois de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'équarrissage et munis dans le bas d'un sabot en fonte moulée en coquille, du même équarrissage et d'une hauteur de $0^m,25$ environ. L'arbre moteur, tournant à une vitesse de 15 à 20 tours à la minute, porte des cames en

1. Sur le profil de ces cames, voyez une note de M. Thiré (*Annales des mines*, 1886).

fonte, qui prennent le pilon par le mentonnet, le soulèvent bien verticalement et le laissent retomber. On tend dans les bocards à substituer le fer au bois. Des bocards légers suffiront, si on ne veut pas trop de farine; au contraire, pour un bocardage à mort, il faut des bocards lourds marchant très vite. En moyenne, les flèches pèsent 75 kilogrammes et les sabots autant; la levée est de $0^m,20$ à $0^m,30$; le nombre des coups par minute est d'environ 50.

On peut bocarder à sec; le minerai, pris alors à la pelle dans l'auge, est jeté sur une grille; ce qui ne passe pas retourne au bocard. Le plus souvent, le bocardage se fait au sein de l'eau; l'auge est fermée par une plaque de tôle percée de trous coniques dont la pointe est tournée vers l'intérieur; le chargement est fait automatiquement, au moyen de roues à ailettes. On estime que, dans ces conditions, on peut broyer par heure et par pilon 50 à 100 kilogrammes de minerai tendre, en dépensant 500 à 2000 litres d'eau. La force employée est en général d'un cheval par pilon.

Le broyage par les meules est moins usité; il ne se recommande que quand on veut obtenir le minerai à l'état de grande finesse pour le grillage ou surtout pour l'amalgamation. Les meules sont placées à plat comme pour le travail du blé, ou de champ comme dans le gâchage du mortier.

Avec de petits concasseurs américains, on peut obtenir des morceaux de $0^m,01$.

Classement par grosseur. — Le classement des grenailles et des sables ne peut se faire que jusqu'à la dimension de 1 ou de un 1/2 millimètre. On emploie à cet effet des *tamis* plans inclinés, ou mieux, des *trommels* tournant autour d'un axe un peu incliné, qui ont l'avantage de produire le même effet que des tamis d'une longueur inadmissible.

L'enveloppe du trommel-classeur est une tôle divisée en plusieurs zones, portant des trous de diamètres différents. Le mouvement des matières est facilité par un courant d'eau intérieur ou un arrosage extérieur. Pour les trous les plus fins, il faut employer des tôles de cuivre ou de zinc ou des toiles métalliques.

Le meilleur système d'emploi des trommels nous paraît le suivant : on classe tout d'abord les sables en trois catégories par un trommel à double enveloppe. L'enveloppe intérieure est conique et de forte épaisseur; elle retient les morceaux de plus de 25 millimètres qui sont triés à la main. L'enveloppe extérieure retient les morceaux de 5 à 25 millimètres qui sont envoyés à un autre trommel-classeur pourvu de trous de 5, 7, 10, 14 et 20 millimètres; elle laisse passer les morceaux plus petits que 5 millimètres; ces derniers vont à un autre trommel présentant successivement des trous de 1/2, 1, 2, 3 et 4 millimètres. Les trommels à double enveloppe doivent présenter à l'intérieur des tôles très solides, car on se rend difficilement compte des dégradations qui peuvent s'y produire.

Sur chaque catégorie de grosseur sortant d'un trommel, on opère un classement par densité, à la main pour les noix et grosses noisettes, dans les cribles pour les petites noisettes, les grenailles et les gros sables; dans les aires de lavage, les cuves ou les tables à secousses pour les petits sables, les schlichs et les schlamms. La conduite de tous ces appareils demande de la délicatesse et de l'intelligence.

Criblage. — Les grenailles sont disposées au-dessus d'une tôle perforée; par les trous de celle-ci, arrive brusquement un courant ascensionnel, qui produit le soulèvement des grenailles, et notamment celui des grenailles fines et légères. Au moment où le courant commence à descendre, celles-ci retombent par leur poids, les plus grosses et les plus lourdes plus rapidement. Après un certain nombre de secousses, elles se disposent par couches sensiblement suivant leur densité; les menus produits par ces chocs traversent la toile métallique et se déposent au-dessous.

Les grenailles traitées ne doivent pas présenter de trop petites dimensions, pour ne pas gêner le courant ascensionnel de l'eau, et être bien débourbées pour ne pas s'agglutiner. Les trous de la tôle doivent être légèrement plus petits que les plus petites grenailles que l'on se propose de traiter, et il faut éviter que les

secousses se succèdent trop rapidement. Plus les grenailles traitées sont grosses, plus il faut augmenter la vitesse de l'eau, l'amplitude et la durée des secousses.

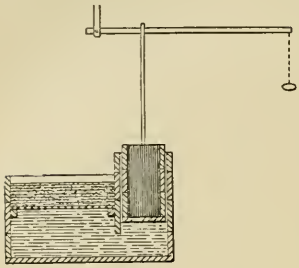


Fig. 103. — Bac à main à piston latéral.

Les cribles que l'on emploie peuvent être *mobiles* à la main ou mécaniquement, à l'intérieur de cuves pleines d'eau, ou être *fixes* dans des cuves dont l'eau est mise en mouvement par un piston; ceux-ci peuvent être *discontinus,* si le chargement est fait indistinctement sur toute la surface du tamis et si les matières se classent sur place, ou *continus,* si le chargement est effectué sans interruption à une extrémité et si les grenailles, qui se classent, cheminent sur un tamis en pente, pour être enlevées à l'autre extrémité.

Le crible du Hartz, ou crible à fond filtrant (fig. 104), servant au traitement des schlichs, est un crible dans lequel le tamis en fer ou en laiton présente des mailles d'un diamètre supérieur à celui des schlichs traités; ce tamis est recouvert au préalable d'une couche de sables lourds, dont les grains sont plus gros que les trous. Les coups de piston soulèvent la masse totale et la classent comme dans les cribles à piston. Les schlichs légers montent à la surface et sont évacués par un déversoir; les schlichs lourds tombent sur la couche de sable,

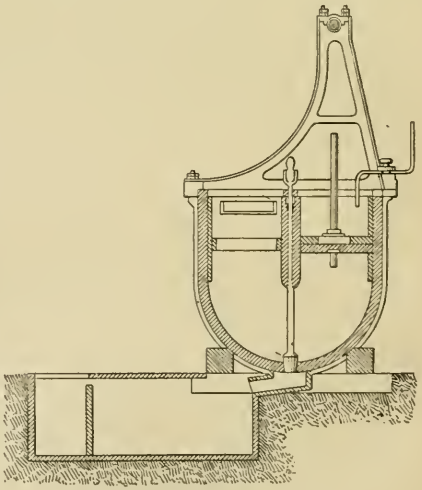


Fig. 104. — Crible du Hartz.

pénètrent dans les intervalles qu'ils laissent entre eux, rencontrent les mailles du tamis et les traversent. Le mouvement est donné au piston par un excentrique circulaire.

Pour des schlichs de 2 millimètres, il faut un coup de piston par seconde de 10 millimètres d'amplitude; pour des schlichs plus fins s'approchant de schlamms, 6 coups par seconde de 1 ou 2 millimètres d'amplitude.

L'épaisseur de la couche inférieure doit être de 2 centimètres; les sables qui la composent doivent avoir une densité égale ou un peu supérieure à celle des matières à obtenir.

Le distributeur centrifuge Huet et Geyler, adapté souvent au crible du Hartz, comprend une roue horizontale tournant rapidement de façon à aspirer la lavée par un tube vertical et l'envoyant au crible par un tuyau horizontal.

Signalons aussi les classeurs à vent, et en particulier celui de M. Krom, de New-York, qui actionne, à l'aide d'un arbre à cames, un piston à charnière, sorte de soufflet ramené brusquement en arrière par un ressort dès que la came l'abandonne. Cet appareil, imprimant à l'air un mouvement saccadé de 8 pulsations par seconde, classe bien des schlamms.

Aires de lavage. — Pour traiter les schlichs ou les schlamms, on peut les faire couler avec de l'eau sur une aire légèrement inclinée. Lorsque le grain est déposé, il se maintient en place, grâce au frottement, malgré la pesanteur et malgré l'impulsion de l'eau. En remuant avec un rable ce dépôt et en le mettant en suspension à une faible hauteur, il est transporté à une certaine distance, d'autant plus grande qu'il est plus léger et plus fin.

Les matières qui se déposent près du point de départ contiennent une plus forte proportion de sables lourds que celles qui se déposent près du pied.

Quand on a de la lavée formée de schlamms, avec un peu de schlichs, on la fait d'abord passer dans un canal à contre-pente où se déposent les schlichs, puis par des spitzkasten consécutives.

Les *spitzkasten* (fig. 105) ou caisses pointues présentent la

forme d'un tronc de pyramide quadrangulaire et sont disposées à la suite l'une de l'autre en cascade avec des dimensions croissantes.

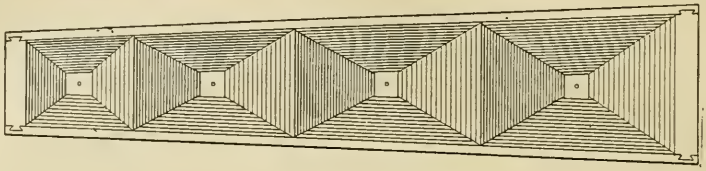


Fig. 105. — Spitzkasten.

On peut, par exemple, employer quatre spitzkasten ayant les dimensions suivantes :

	DIMENSIONS au niveau de l'eau.		PROFONDEUR.
	LONGUEUR.	LARGEUR.	
	mètres.	mètres.	mètres.
1re caisse	1,70	0,40	1,10
2e caisse	2,60	0,70	1,70
3e caisse	3,50	1,30	2,30
4e caisse	4,40	2,30	2,90

Le courant des matières, en arrivant dans chaque caisse, subit un ralentissement brusque et il s'y forme un dépôt de plus en plus fin de matières soustraites à l'action du courant et tombant au fond. Elles sont évacuées par un petit canal avec une faible quantité d'eau. Il se forme dans ces spitzkasten un dépôt respectif de 35, 30, 20 et 10 0/0 des schlamms, et il en sort en moyenne 5 0/0 que l'on fera déposer dans le labyrinthe, long canal à faible pente suivi de bassins de dépôt[1].

1. On a proposé de faire le classement d'une façon analogue à l'aide d'un courant d'air : le labyrinthe à air d'Engis est composé d'une longue caisse tubulaire à section croissante parcourue par un fort courant d'air fourni par un ventilateur. Les matières

Caisson allemand. — Cet appareil (fig. 106), appelé aussi caisse à tombeau, et qui était autrefois très employé, l'est moins aujourd'hui ; il sert au traitement des schlichs.

Il a 4 mètres de longueur sur 50 centimètres de largeur et présente une pente de 7 ou 8 0/0. Les schlichs chargés à la pelle en tête de l'appareil sont entraînés par un courant d'eau, mais ramenés avec un rable à la partie supérieure dans l'ordre de clas-

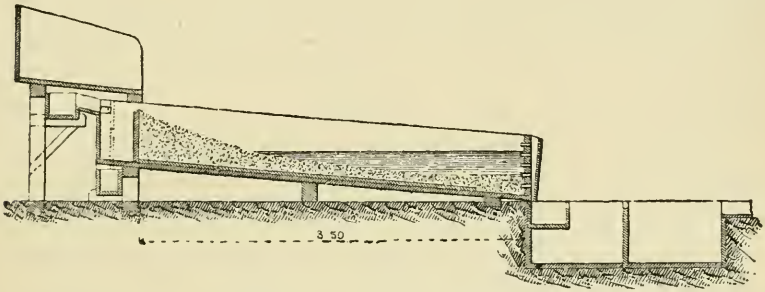


Fig. 106. — Caisson allemand.

sement. Les parties fines entraînées sont évacuées aux appareils à schlamms. En une heure, il se forme dans le caisson un dépôt de 40 centimètres à la tête et de 25 centimètres au pied ; on le découpe en tranches, celle de tête contenant une plus forte proportion de schlichs gros et lourds que la matière traitée, celle du milieu une égale proportion et celle du pied une plus faible. Après plusieurs passages, la tranche de tête est constituée par du minerai bon à fondre, celle du pied ne contient que du stérile, que l'on fait quelquefois passer sur une *plannenheerd* [1], afin de retenir les paillettes sur les rugosités de la toile.

La *table dormante,* destinée aux schlamms, diffère du caisson allemand par ses dimensions plus grandes et sa plus faible pente.

arrivent par une trémie alimentée par une chaîne à godets et tombent sur un fond constitué de deux plans inclinés, séparés par une fente par laquelle sortent les matières convenablement classées ; cet appareil a été abandonné en raison des frais occasionnés par le four qui desséchait les poussières et par le moteur du ventilateur.

1. Table à toile fixe.

La *frame* des ateliers anglais est une table dormante, sur laquelle on recueille à la fin, par un fort courant d'eau, les matières enrichies.

Dans le *stanok* ou auge sibérienne, les matières passent successivement par les trous de 1 à 2 centimètres de diamètre d'une planche en tôle, sur un caisson incliné, sur un seuil de 5 à 6 centimètres de haut, et sur une table dormante, où on rable en remontant.

Le *round-buddle* (fig. 107) est une cavité cylindrique de 3 à

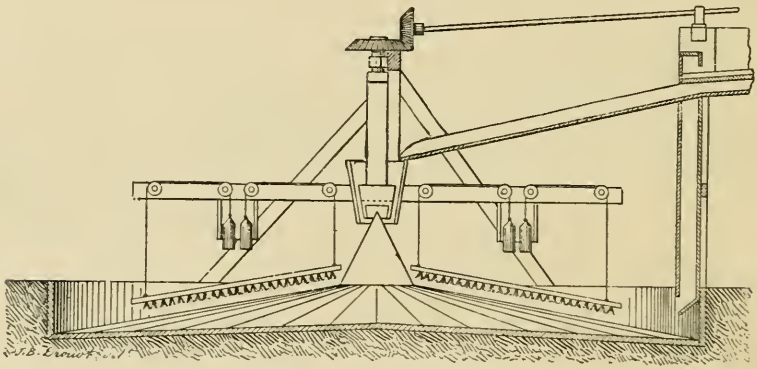


Fig. 107. — Round-buddle.

6 mètres de diamètre, dont le fond est un cône très aplati, convexe ou concave. La lavée est amenée au point culminant et s'écoule en convergeant ou en divergeant; l'inclinaison de la surface sur laquelle se fait le dépôt varie en un point donné pendant le cours de l'opération et, par conséquent aussi, la teneur des matières qui s'y déposent.

La *table tournante* (fig. 108) est un round-buddle généralement convexe, mobile autour d'un axe vertical. La lavée est donnée à la partie supérieure et descend sur la table en se classant; les grains légers arrivent en bas, les grains lourds restent en haut et sont balayés par un fort jet d'eau, avant de revenir au rayon initial.

Les tables tournantes comprennent parfois de bas en haut un solide châssis en fonte, des madriers rayonnant, un plancher en sapin, puis un second plancher en hêtre formé de planches disposées suivant des rayons de cercle et parfaitement assemblées, de manière à fournir une surface conique très régulière.

Malheureusement, cette surface tend toujours à se gauchir; aussi vaut-il mieux employer des tables en fonte plus coûteuses, formées d'une seule pièce ou de deux pièces solidement boulonnées et parfaitement tournées. Le diamètre varie généralement de

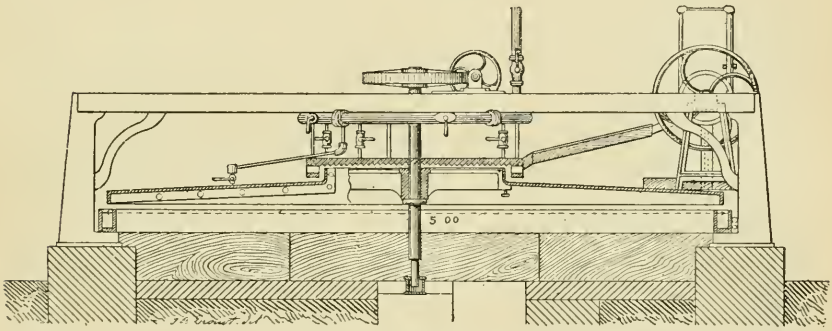


Fig. 108. — Table tournante.

2 à 6 mètres, la vitesse de rotation n'est que d'un petit nombre de tours par minute; quant à la consommation d'eau, elle est de 6 à 30 mètres cubes par heure.

Criblage à la cuve. — Ce criblage, qui utilise la différence de vitesse de chute dans l'eau des diverses grenailles, peut être exécuté dans une eau stagnante ou mieux au sein d'une eau animée d'un mouvement ascendant, qui entraînera les grains les plus légers et les plus ténus.

La cuve, ou *kieve,* des Anglais est un tronc de cône en bois (hauteur, $0^m,80$; base inférieure, 1 mètre; base supérieure, $1^m,10$) dans lequel des palettes peuvent tourner autour d'un axe vertical. On remplit la cuve d'eau jusqu'à moitié de sa hauteur, on y verse

autant que possible contre les parois, à la pelle, les matières schlammeuses, en donnant un mouvement rapide à l'agitateur, et on continue de verser jusqu'à ce que le niveau de l'eau monte à $0^m,70$. On fait suivre ce débourbage violent d'une période de repos. On enlève l'agitateur et, pendant près d'une heure, on frappe des petits coups secs de marteau contre les parois de la cuve. On décante le liquide avec un siphon ; ensuite, à l'aide de raclettes on retire les couches successives qui se sont accumulées au fond ; les couches supérieures plus légères sont repassées au round-buddle, celles inférieures sont formées de minerai enrichi.

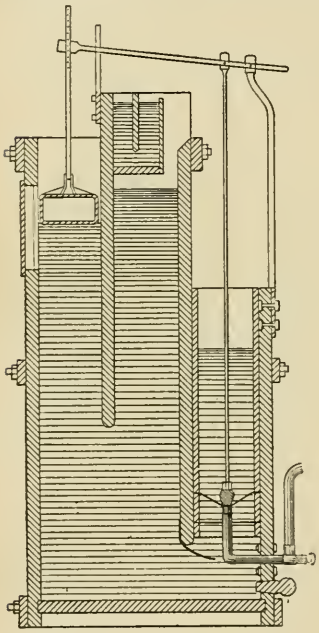


Fig. 109. — Heberwäsche.

Appareils à courant ascendant. — Ces appareils sont composés d'une série de réservoirs analogues aux spitzkasten ; à leur partie inférieure, on envoie un courant d'eau ayant une vitesse ascensionnelle assez grande pour pouvoir faire monter jusqu'au déversoir les poussières les plus légères. La forme pointue de la caisse produirait une diminution de vitesse du bas jusqu'en haut, avec accumulation à la moitié de la hauteur de certains grains.

On évite cet inconvénient en donnant à l'appareil une forme ventrue et en faisant arriver l'eau pure à la section la plus large.

Des appareils très divers reposent sur ce principe (bac d'Engis, lavoir Thirion, classeur Dor, etc.).

L'*Heberwäsche* (laveur à siphon) (fig. 109) est appliqué au traitement des sables. Il comprend une caisse en bois, divisée, au moyen de deux cloisons longitudinales, en trois compartiments en

communication par le bas. Le compartiment de droite est celui de la lavée; il est fermé à la partie inférieure par une tôle à trous très fins. L'eau claire arrive à un niveau supérieur dans le compartiment central, qui a 16 mètres de hauteur, et de là passe dans les deux autres compartiments, en créant dans celui de droite un courant ascendant; les sables assez lourds pour vaincre ce courant arrivent au fond et bouchent les trous de la tôle perforée. En même temps, un piston flotteur, disposé dans le compartiment de gauche, monte et agit sur un levier qui enlève un bouchon conique

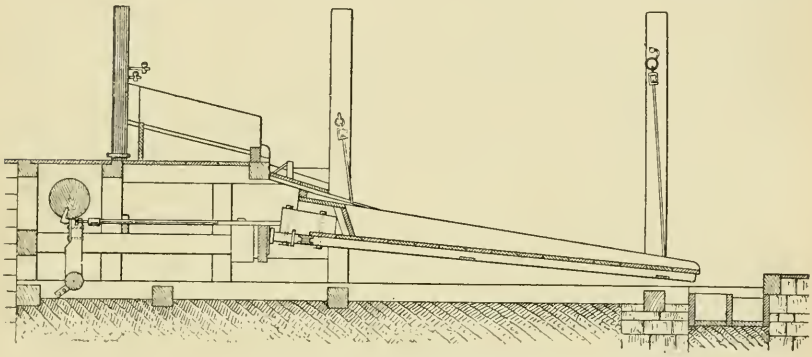


Fig. 110. — Table à secousses.

placé au niveau de la tôle perforée du compartiment de droite, les sables lourds peuvent s'échapper et l'opération recommence. Grâce à la grande pression de l'eau dans l'heberwäsche, cet appareil est d'une extrême activité.

Tables à secousses. — La table à secousses ordinaire (fig. 110) est à peu près disposée comme la table dormante. Elle a en général 4 mètres de long sur 2 mètres de large, avec une inclinaison de 4 à 5 0/0; des chaînes la suspendent aux quatre angles; celles du pied s'enroulent sur un arbre et permettent de faire à volonté varier l'inclinaison de la table. On commence par mélanger à l'eau les sables au moyen d'une roue à palettes; les eaux boueuses sont répandues uniformément sur toute la largeur de la table par un

distributeur, constitué de petits prismes de bois disposés sur un chevet, en retraite les uns sur les autres.

La lavée est donnée pendant deux heures, la table reçoit par minute 40 secousses de $0^m,05$ d'amplitude. A cet effet, elle reçoit, au moyen d'un levier actionné par une came, représenté à gauche de la figure, un coup de marteau dans la direction et le sens de la ligne de sa plus grande pente descendante. La table revient par son poids à sa position d'équilibre et, un peu après, elle heurte un madrier horizontal (représenté avec des hachures) qui la renvoie en avant; elle rebondit plusieurs fois sur ce madrier avant de recevoir un nouveau choc du levier. Par suite de ces secousses, les grains sont lancés vers le haut de la table, d'autant plus loin qu'ils sont plus lourds et plus gros et, remis en suspension, ils sont entraînés par l'eau vers le bas, d'autant plus loin qu'ils sont plus légers et plus fins. L'opération terminée, on arrête l'appareil et, après avoir laissé sécher les matières, on découpe le dépôt. A la partie supérieure, ce dépôt présente $0^m,15$ d'épaisseur et est formé de schlichs lourds; à la partie inférieure, il a $0^m,20$ d'épaisseur et est constitué de schlichs légers. Lorsqu'on doit traiter des matières fines il faut diminuer l'amplitude des secousses; l'appareil se rapproche alors de la table dormante,

La *table de Rittinger* (fig. 111) est appliquée spécialement au traitement des schlamms; c'est une surface rectangulaire parfaitement unie de $0^m,50$ à $1^m,70$ de large sur $2^m,50$ à 4 mètres de long, inclinée à raison de 5 à 7 0/0; on y fait écouler une nappe continue d'eau claire à raison d'un mètre cube par heure. La lavée est donnée à un des angles supérieurs, par exemple à l'angle de droite. La table est attachée à ses angles par quatre chaînes de suspension. Lorsqu'elle est dans sa position d'équilibre elle repose à gauche sur un heurtoir fixe, on l'en écarte doucement au moyen d'un arbre à cames et on l'y ramène brusquement à l'aide d'un ressort. A la suite du choc une nouvelle came entre en prise. Ces chocs projettent les grains de schlamms vers la gauche, à une distance d'autant plus grande qu'ils sont plus lourds. Tous les grains

sont entraînés à peu près avec la vitesse uniformément accélérée de l'eau qui coule sur la table.

Ces divers grains décrivent des paraboles d'une amplitude horizontale proportionnelle à leur densité et indépendante de leurs dimensions, pourvu que celles-ci soient très faibles. A la partie

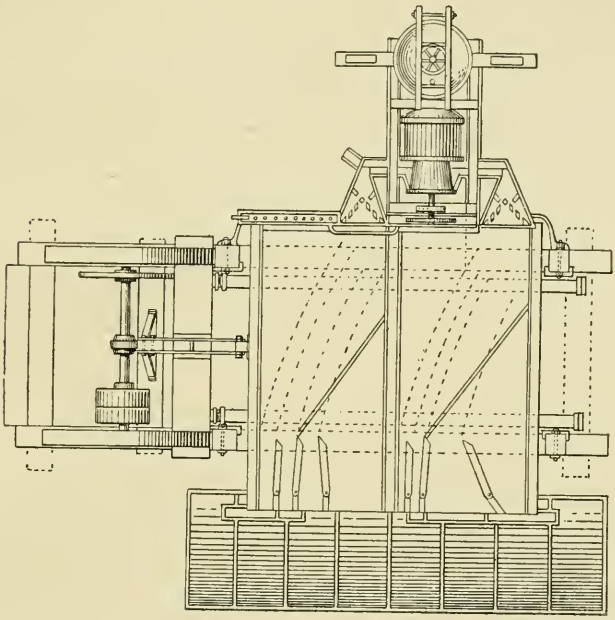


Fig. 111. — Table de Rittinger (projection horizontale).

inférieure est disposée une auge divisée par des couteaux mobiles autour de leur point d'attache; dans ces compartiments successifs se déposent diverses catégories de minerais et de gangues. Par exemple à Nagy-Banya, où l'on traite de la pyrite mélangée de gangues et d'une très faible proportion de galène et d'or, on recueille dans quatre compartiments : 1° de la galène avec de l'or et un peu de pyrite, dont le traitement comme matière aurifère sera indiqué plus loin; 2° de la pyrite; 3° de la pyrite mélangée

de gangue (ce mélange sera repassé à la table de Rittinger); 4° des gangues bonnes à jeter. Quelquefois on donne par minute 40 secousses de $0^m,05$ d'amplitude et dans d'autres cas 300 secousses de $0^m,01$ seulement.

Les fondations de l'appareil doivent être très solides et bien reliées au heurtoir.

La table de Rittinger en marbre poli ou en ardoise est certainement l'appareil qui classe le mieux les matières fines.

Considérations générales. — La préparation des minerais métalliques a réalisé de grands progrès depuis quelques années : Substitution du fer au bois, qui se gauchit, se fend et se pourrit à l'humidité; emploi d'appareils automatiques et continus (concasseurs américains, cribles à piston, trommels, tables tournantes, tables de Rittinger, etc.); transport des matières à l'aide d'engins mécaniques (élévateurs, chaînes à godets, toiles sans fin, pompes à force centrifuge, etc.); réunion des divers ateliers en un unique atelier, qui atteint souvent d'énormes dimensions.

Au début d'une exploitation minérale, on emploie, pour la préparation mécanique, de petits appareils économiques, et on met de côté les résidus à retraiter ultérieurement; on se contente par exemple d'un broyeur, de grilles, d'un crible à piston discontinu pour les grenailles, d'un caisson allemand pour les sables et d'une table dormante pour les schlamms. Dans la période de pleine activité, on peut adopter un traitement complet (type allemand) ou rapide (type anglais). Quoi qu'il en soit, l'outillage doit comprendre : concasseur américain, bocards, grilles et trommels.

Si l'on suit le type allemand, il faut des cylindres, cribles continus pour grenailles, cribles du Hartz pour schlichs, appareils à courant ascendant, labyrinthe, tables tournantes et tables de Rittinger pour les schlamms. A la sortie de la mine, située au point le plus haut, on place le concasseur américain, le trommel débourbeur, l'atelier de scheidage, les cylindres broyeurs et les bocards.

Dans la méthode anglaise, les appareils employés sont des

cribles mobiles pour les grenailles, des round-buddles et des kièves pour les sables et les schlichs, et des frames pour les schlamms; ces appareils rapides, imparfaits et discontinus, gaspillent la matière, mais travaillent vite et font gagner beaucoup d'argent dans l'année.

Le prix de revient de la préparation mécanique dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont la dureté des gangues, la dureté, l'état de dissémination et la complexité du minerai, le degré de richesse des matières bonnes à employer et de pauvreté des stériles à rejeter, les appareils employés et les soins apportés aux opérations. Nous donnons néanmoins quelques chiffres plus ou moins approximatifs pour le prix du traitement par tonne de quelques minerais.

Manganèse		10 francs.
Galène	en grenailles . . .	7 —
	fines.	10 —
Galène et blende.	en grenailles . . .	12 —
	fines.	15 —
Cuivre pyriteux et pyrite de fer. . . .		12 —
Cuivre pyriteux et galène.		17 —
Cuivre pyriteux, galène et blende. . .		25 —

Il faut aussi tenir le plus grand compte des pertes plus ou moins importantes qui résultent du traitement.

MINERAIS DE FER

Le minerai de fer est d'un prix peu élevé et peut être fondu avec les gangues qui l'accompagnent. Son traitement demande donc à être fait sommairement et économiquement. S'il est argileux, on se contente d'un débourbage au *patouillet*. Cet appareil consiste en une auge demi-cylindrique présentant une légère pente et dans laquelle le minerai circule avec un fort courant d'eau. Suivant l'axe est disposé un arbre de rotation à palettes, qui battent

le courant boueux. Le minerai est recueilli à sa sortie et les troubles emportés par l'eau. Le patouillet traite 40 tonnes par jour, mais il n'a pas les qualités du trommel débourbeur.

Par la trieuse magnétique Vavin (fig. 112) ou ses nombreux congénères, on peut séparer le minerai magnétique de fer des sables auxquels il est mélangé à la Réunion, de la blende qu'on trouve associée avec lui à Friedrichssegen ou à Pribram, du minerai de cuivre à Traverselle, etc.

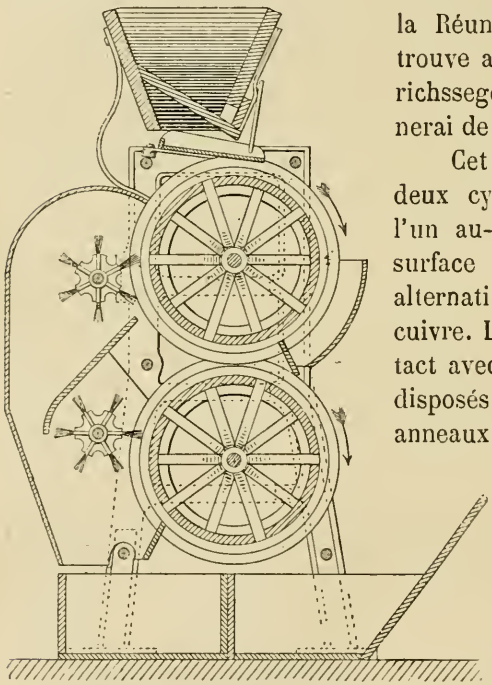


Fig. 112. — Trieuse magnétique Vavin.

Cet appareil est composé de deux cylindres rotatifs disposés l'un au-dessus de l'autre; leur surface est constituée d'anneaux alternatifs de fer doux et de cuivre. Les premiers sont en contact avec des barreaux aimantés, disposés suivant des rayons. Les anneaux de cuivre ou de fer du second cylindre correspondent inversement à ceux du premier. Par suite, les sables versés par la trémie supérieure rencontrent forcément une surface magnétique. Les éléments magnétiques glissent sur le cuivre et adhèrent au fer, les autres tombent dans une auge inférieure; des brosses fixes nettoient les surfaces remontantes, chargées de particules ferrugineuses.

MATIÈRES AURIFÈRES.

Occupons-nous d'abord des sables plus ou moins grossiers. Le procédé autrefois employé consistait à employer un plat rond et creux appelé *batée* ou *pan*, de $0^m,40$ de diamètre et de $0^m,12$ de profondeur. On emplit ce plat de minerai aux deux tiers et on le plonge dans l'eau; on lui donne des mouvements oscillatoires ou circulaires, qui classent les matières par densité; on rejette les menus grains et on enlève à la main les gros grains de quartz, et, à l'aide d'un aimant, l'oxyde de fer magnétique s'il y en a; l'or reste seul.

Le laveur hydraulique Bazin est la transformation mécanique de l'appareil précédent. Dans une cuve cylindrique en tôle, remplie d'eau, se trouve un lavoir en cuivre qui reçoit par une manivelle un mouvement de giration entraînant les sables hors du lavoir dans la cuve où ils tombent; l'or reste dans le lavoir sur un faux fond mobile. Deux hommes peuvent, avec le laveur Bazin, traiter 5 tonnes de sable par jour.

Le *rocker* est une boîte en bois de 1 mètre de long sur $0^m,50$ de large; sur le fond, légèrement incliné, sont disposés deux baguettes transversales en bois de $0^m,02$ d'épaisseur. Le rocker est fermé à la partie la plus élevée et ouvert à l'autre; il oscille, comme un berceau d'enfant, autour d'un axe parallèle à sa longueur. La charge est mise du côté le plus élevé dans une boîte à fond perforé; au-dessous de cette boîte est disposée une toile inclinée, qui fait tomber le sable sur le fond, à l'extrémité supérieure. On verse de l'eau dans la boîte sur les matières à traiter et on donne au rocker des mouvements d'oscillation; l'or et les gros sables, faciles à enlever à la main, s'arrêtent derrière les baguettes transversales, tandis que les parties fines et légères s'échappent.

Le *longtom* comprend une auge en bois ($3^m,50$ de long sur $0^m,50$ de large), fermée par une tôle perforée qui arrête les gros fragments, et un canal en bois incliné, armé de planchettes qui forment des rainures contenant du mercure auquel l'or vient s'amalgamer.

Les *sluice-box* sont constitués par des canaux en bois dont le développement atteint 2000 mètres : la section a 1 à 2 mètres de largeur sur 1 mètre de profondeur ; la pente est de 3 à 5 0/0. Les parois sont garnies de planches que l'on remplace facilement ; le fond est garni de pierres bien fixées, laissant des vides remplis de sable, d'argile et de petits cailloux. On arrose avec du mercure (200 grammes par mètre à la tête, 100 au pied). Le mercure descend, à cause de sa densité, mais il est arrêté en partie par des actions capillaires ; du reste, on en reverse de temps en temps. On fait passer dans les sluice-box les sables aurifères et un fort courant d'eau : l'or, qui tombe au fond, s'amalgame avec le mercure ; quant aux galets et aux sables, ils roulent et sont entraînés. De place en place, le fond du sluice-box est formé de barreaux d'acier, et le courant d'eau passe avec les sables fins dans un under-current, sorte de table moins inclinée que le sluice-box ; une partie de l'or s'y dépose en s'amalgamant ; le courant d'eau, après avoir passé dans l'under-current, rentre au pied dans le courant général. L'amalgame formé est recueilli tous les deux mois et lavé à la batée ; on filtre dans une toile l'excès de mercure et on distille l'amalgame.

M. Bazin a essayé, récemment, d'activer l'amalgation de l'or en électrisant le mercure au moyen d'une machine Siemens.

Si, au lieu de sables, on a à traiter des matières plus fines provenant du broyage de filons quartzeux aurifères, les méthodes sont différentes.

On traite généralement ces matières fines dans des moulins tyroliens de $0^m,50$ de diamètre, où on les brasse avec des agitateurs en présence d'une certaine quantité de mercure qui amalgame l'or.

A Nagy-Banya, le résidu des moulins passe, comme nous l'avons dit, sur des tables de Rittinger; l'or se concentre avec la galène et un peu de pyrite. Cette matière est moulue plus finement et envoyée à des tables à secousses : le dépôt obtenu à la tête de ces tables est traité dans des pans carrés de $0^m,50$ de côté, sur lesquels on fait arriver de l'eau par des cornes de bœuf tenues à la main.

Le traitement de ces matières fines se ferait mieux avec l'amalgamateur hydro-centrifuge Bazin, représenté figure 113,

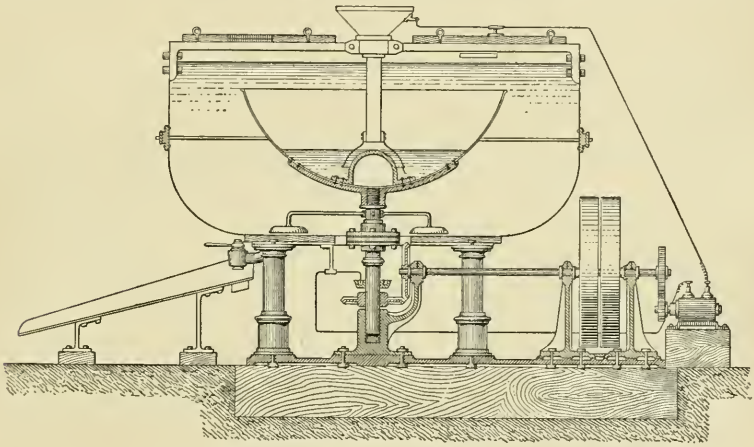


Fig. 113. — Amalgamateur hydro-centrifuge Bazin.

qui diffère du laveur hydraulique par la présence, en dessous de la coupe centrale, d'un appendice cylindrique rempli de mercure contenant un hélicoïde métallique. Les matières, versées dans un entonnoir, sont conduites dans ce double fond par un tuyau vertical rempli d'une hauteur d'eau faisant équilibre à la colonne de mercure. L'or tombe dans le mercure et s'y amalgame; les autres matières traversent le mercure en montant le long de l'hélicoïde et arrivent dans la coupe centrale, de laquelle est expulsé, par la force centrifuge, tout ce qui n'a pas une grande densité.

Les rendements journaliers des divers appareils que nous avons indiqués sont les suivants :

Batée.	200	litres de sable.
Rocker	800	—
Laveur	1 000 à 1 500	—
Longtom.	1 500 à 2 000	—
Sluice-Box.	50 000 à 100 000	—

HOUILLE

L'épurateur de charbon à sec de M. Sottiaux, que nous avons remarqué à l'Exposition de 1889, est fondé sur la grande friabilité du charbon. On verse les charbons par une trémie dans un cylindre horizontal fixe à parois cannelées. Sur l'axe du cylindre, six lames hélicoïdales tournent à quatre ou cinq tours par seconde, frappent le charbon, le pulvérisent et l'envoient à l'extrémité du cylindre, où il traverse une tôle perforée, qui arrête les pierres restées intactes. Cet appareil traite 40 tonnes à l'heure avec 15 chevaux de force : il réduit notablement la proportion des pierres et il perd peu de charbon.

Mais ce procédé est exceptionnel ; habituellement on lave la houille pour débarrasser les menus des impuretés qui s'y trouvent mélangées, telles que : schiste, pyrite de fer, fer carbonaté, lithoïde, gypse, carbonate de chaux, etc. Tandis que la densité de la houille est de 1,2, celle de ces diverses matières est supérieure à 1,5. Le lavage porte sur de grandes quantités de matières et doit être exécuté très économiquement.

Les menus de houille à l'état brut renferment de 10 à 30 0/0 de cendres, provenant soit des matières minérales contenues dans les végétaux qui ont formé la houille, soit de matières étrangères mélangées à la houille ; mais comme la vente des charbons doit être généralement faite avec une teneur en cendres qui ne dépasse pas 6 à 15 0/0, il faut nécessairement laver les menus. On peut ensuite

les vendre, ou bien les transformer par des procédés décrits dans un autre volume de la *Bibliothèque des sciences et de l'industrie*[1], en agglomérés aujourd'hui très recherchés par l'industrie.

Reportons-nous au chantier. Le gros, trié à la main, est amené au jour dans des bennes spéciales, dont le contenu est chargé directement sur wagons. Ce qui reste, c'est-à-dire le *tout-venant*, est extrait et culbuté sur des grilles inclinées formées de barreaux distants de $0^m,05$ ou sur une plaque de fonte inclinée percée de trous d'un diamètre équivalent.

Le refus est trié par des femmes ou des gamins, pendant le passage sur les grilles ou sur les plaques perforées, ou bien, après ce passage, sur des tables fixes ou tournantes. On met les schistes au rebut; le charbon trié est livré au commerce, soit directement, soit après avoir subi un classement, par grosseur, plus ou moins complet. Les menus se retrouvent sous les grilles ou sous la plaque perforée.

Broyage et classement par grosseur. — Le charbon n'est pas toujours broyé, on préfère généralement l'employer en gros morceaux; mais, quand il doit servir à fabriquer le coke, il y a intérêt commercial à le broyer, afin de bien répartir ses impuretés dans toute la masse pour dissimuler leur présence.

Les appareils de broyage sont des cylindres, des moulins à noix ou bien des broyeurs Carr.

Les cylindres sont généralement cannelés ou à rainures transversales. Les moulins à noix, analogues aux moulins à café, sont constitués par deux cônes en fonte d'excellente qualité et s'enveloppant; l'un est fixe, l'autre tourne autour de son axe vertical; les dents, dont ils sont garnis, forment entre elles un angle de 5 à 6 degrés; les morceaux de houille saisis entre ces dents sont broyés et sortent à la partie inférieure.

Le broyeur Carr (fig. 114) est formé de deux disques métalliques verticaux de 1 à 2 mètres de diamètre, venus de fonte avec

1. *La Houille et ses dérivés*, par MM. Chemin et Verdier.

leurs arbres creux ; ceux-ci tournent en sens contraire en face l'un de l'autre, autour d'un axe en acier trempé, avec une très grande vitesse (300 à 400 tours par minute) et portent chacun deux couronnes de barreaux d'acier vissés à leurs extrémités libres dans des cercles en fer forgé. Les cylindres, dont ces barreaux dessinent les génératrices pour l'un des plateaux, s'intercalent entre ceux du

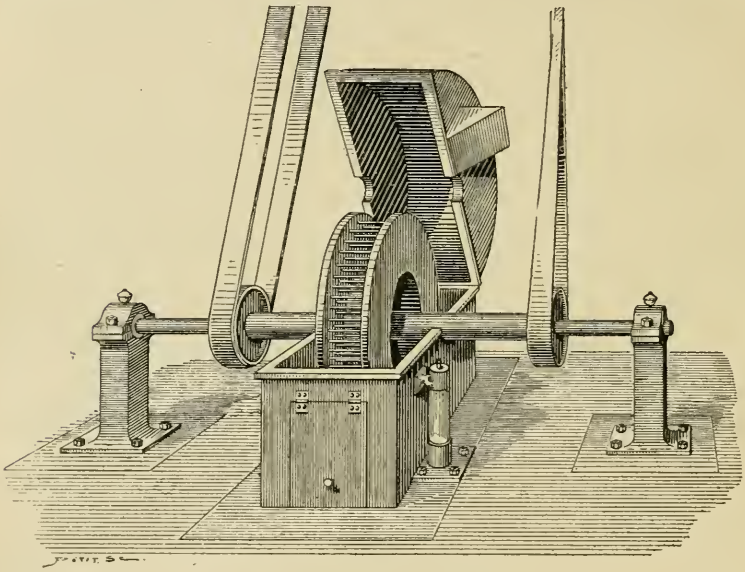


Fig. 114. — Broyeur Carr.

second. L'appareil est renfermé dans une enveloppe en tôle. Le charbon est chargé au centre par une trémie et envoyé par la force centrifuge vers la circonférence, à travers les couronnes de barreaux qui tournent successivement en sens contraire. Les morceaux ainsi secoués se divisent sans échauffement et s'accumulent à la partie inférieure, d'où ils sont évacués au dehors par une vis. On peut broyer de 12 à 15 tonnes de charbon par heure avec 10 à 12 chevaux de force, dans un appareil Carr.

La densité de la houille dans l'eau (0,2 à 0,3) étant beaucoup plus faible que celle de ses impuretés (0,5 à 3), il n'est pas nécessaire de faire un classement minutieux par grosseur : on ne fait en aucun cas plus de 5 catégories. On fait usage de plaques de tôle perforées ou de grilles tantôt fixes, tantôt à secousses. On emploie aussi le crible mécanique de M. Briart, composé de deux grilles s'emboîtant l'une dans l'autre et animées d'un mouvement alternatif très lent : le tout-venant, versé par les wagonnets dans une trémie, est trié par cet appareil en gros et en menus. Mais les meilleurs appareils sont les *trommels*. On leur donne $1^m,50$ à 2 mètres de longueur, $1^m,20$ à $1^m,50$ de diamètre et une vitesse de 12 à 15 tours à la minute. Quand ils sont exactement horizontaux, on fait usage d'une hélice intérieure qui oblige le tout-venant à marcher du côté où il doit être évacué.

Le trommel est souvent divisé en plusieurs manchons garnis soit de grilles, soit de tôles perforées ou de toiles métalliques à mailles plus ou moins larges. Comme les poussières pourraient se dégager dans l'atelier, on a soin de noyer à demi le trommel ou de le renfermer dans une enveloppe.

Lavage. — On procède généralement au lavage du charbon classé par grosseur dans des bacs à piston analogues à ceux précédemment décrits. La charge est versée sur une tôle perforée, au-dessous de laquelle se trouve de l'eau, qui reçoit une série de petits mouvements ascensionnels rapides, suivis de mouvements plus lents de descente. A chaque ascension l'eau soulève les matières après avoir traversé la tôle, et notamment les plus ténues et légères ; les matières se stratifient : la houille monte à la surface, tandis que toutes les impuretés se déposent au fond.

Le bac à piston le plus répandu est une simple caisse en bois qu'une cloison transversale divise en deux compartiments qui communiquent par leur partie inférieure. Le plus grand est destiné à recevoir les matières à traiter, l'autre constitue le corps de pompe avec un piston flottant, qui le garnit en laissant un jeu. Un mouvement brusque de descente est donné, au moyen d'un arbre à cames,

au piston qui remonte librement. L'eau est violemment chassée sous le tamis et redescend doucement. Le piston, dont la course a une amplitude moyenne de 10 centimètres, bat par minute 30 coups environ.

Cet appareil a reçu divers perfectionnements, que le défaut de place nous empêche de décrire. Le lavoir *Berard* passe par jour de 150 à 180 tonnes, et ne demande qu'une force de 10 chevaux.

Laveur à couronne Évrard. — Le laveur imaginé par M. Maximilien Évrard comprend un corps de pompe central de 5 mètres de diamètre, entouré d'une couronne circulaire large de 5 mètres, pleine d'eau; dans celle-ci est disposé un crible incliné à l'horizon, présentant la forme d'une couronne émergée sur un tiers de sa surface et immergée sur les deux autres tiers. Ce crible tourne dans son plan autour de son centre. Le piston, situé dans le corps de pompe central, envoie, par les coups qu'il donne, l'eau sous le crible.

La matière est chargée au point où le crible entre dans l'eau et se classe, grâce aux coups de piston pendant l'immersion du crible; quand celui-ci émerge, on retire la charge au moyen de palettes qui écrèment les produits et les déversent dans des couloirs respectifs, auxquels aboutissent les wagons destinés au chargement. Cet appareil intéressant est d'un entretien coûteux, qui l'a empêché de se répandre.

Traitement des limons. — Dans les appareils que nous venons de décrire, des limons traversent le tamis et sont recueillis à la partie inférieure; ces limons atteignent jusqu'à 20 0/0 de la masse traitée. Si celle-ci est du charbon tendre venant d'une couche pure dont le toit et le mur sont formés de schistes solides ou de grès, le limon ne contient guère que du charbon et on peut le joindre à la lavée; mais souvent le limon comprend du schiste et doit être rejeté. Il faut donc chercher à diminuer la proportion de limon, en laissant sur le tamis une couche de schiste et en donnant seulement le nombre de coups de piston juste suffisant pour obtenir le classement.

On peut, dans ce cas, laver les limons, en les brassant fortement dans un bassin, et en envoyant ensuite la lavée dans une longue rigole inclinée, coupée de cascades et débouchant dans un grand bassin de dépôt. Le traitement à la Grand'Combe, portant sur des limons à 50 0/0 de charbon, a permis d'en retirer 35 0/0 en charbon à 8 0/0 de cendres. A Portes, on a employé des cribles du Hartz, en inversant, comme de juste, leur fonctionnement : un crible du Hartz, avec 100 à 120 coups par minute, donne par jour 8 tonnes de charbon à 8 0/0 de cendres, en consommant 20 mètres cubes d'eau.

On peut aussi classer les menus de charbon en utilisant leur chute continue dans l'eau, ou, ce qui est la même chose, l'ascension continue de l'eau au milieu d'eux.

Laveur-classificateur de M. Maximilien Évrard (fig. 115). — Cet appareil, de grandes dimensions, comprend une cuve de lavage, cylindrique ou rectangulaire, de 7 à 8 mètres de profondeur et présentant 5 à 6 mètres carrés de section, communiquant par le bas avec une *cuve de pistonnage,* figurée à droite, de même section, mais de moindre hauteur. Ces deux cuves sont à peu près pleines d'eau. Celle de pistonnage est hermétiquement close et peut recevoir à sa partie supérieure un courant de vapeur qui se condense en partie en échauffant les couches supérieures de l'eau, et qui presse sur elles comme un piston. On place, dans la cuve de lavage, la charge à traiter, environ 4 tonnes, sur une tôle perforée disposée à 2 mètres au-dessous du bord supérieur. En envoyant dans le haut de la cuve de pistonnage de la vapeur on fait monter l'eau dans la partie supérieure de la cuve de lavage, puis on laisse se produire l'échappement de la vapeur, l'eau redescend. On laisse pendant quelques minutes les boues se déposer, et on soulève ensuite le tamis à l'aide d'un piston hydraulique, mû par le jeu d'une cuve de pression figurée à gauche, à la partie supérieure de laquelle on admet la vapeur. L'eau qui recouvre la couche presque imperméable de charbon déborde et se rend dans un décanteur. La charge arrive agglomérée et classée en haut de la

cuve de lavage; on l'y découpe en tranches horizontales avec un racloir. Les tranches supérieures sont formées de charbon, celles inférieures de schiste, celles intermédiaires de charbon et

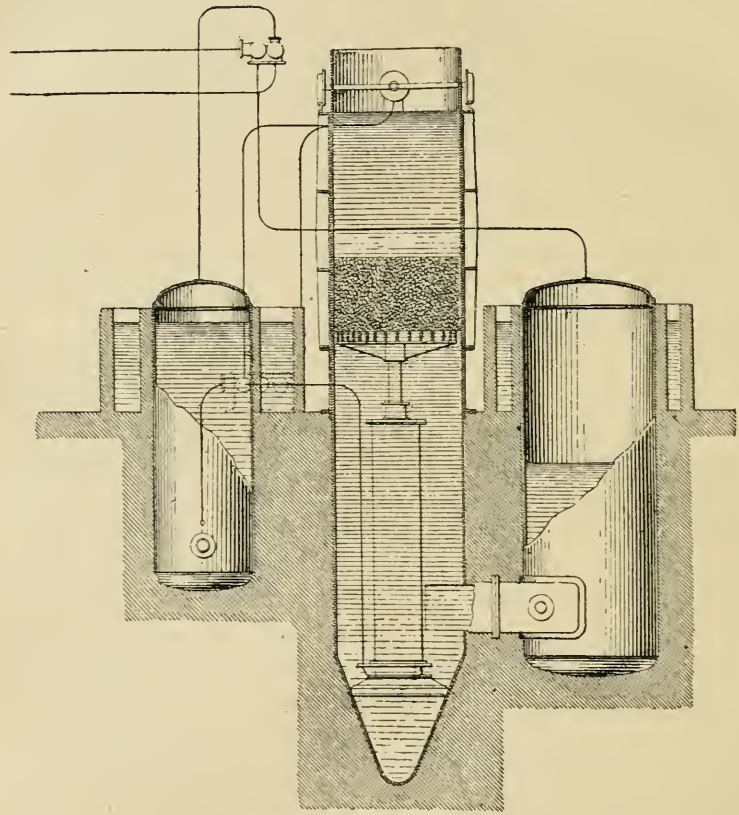


Fig. 115. — Laveur-classificateur Évrard.

de schiste; ce mélange est traité dans le laveur à couronne Évrard, dont nous avons parlé plus haut. Le laveur-classificateur passe 200 tonnes par jour.

Lavoir Marsaut (fig. 116). — Dans cet appareil, ce n'est plus

l'eau que l'on fait monter, c'est le charbon qui descend. L'appareil comprend une cage en fer guidée, dont le fond est formé d'une

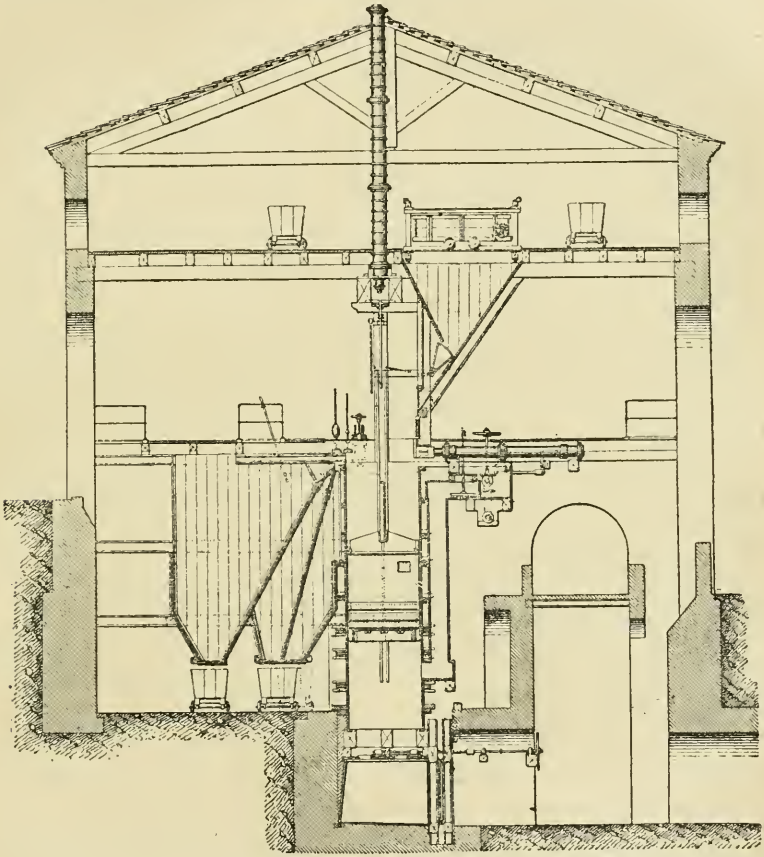


Fig. 116. — Lavoir Marsaut.

claie de lavoir et les parois constituées par trois tiroirs superposés; la cage est supportée par une tige, soutenue par un piston mobile dans un long cylindre vertical rempli d'eau sous pression. Elle est disposée dans une caisse rectangulaire en bois,

dont le haut est ouvert et le bas fermé par une cloison à vannes, qui la sépare d'un réservoir à limon. On charge environ 4 tonnes dans la trémie d'introduction, on emplit la caisse d'eau et on remonte la cage. En ouvrant la vanne de la trémie, le charbon tombe en pluie dans la cage; on la fait descendre en manœuvrant un robinet de décharge du cylindre, et en imprimant d'abord deux ou trois secousses de grande amplitude, pour bien répartir la charge, puis une série de descentes successives de 2 à 20 centimètres d'amplitude. Après quelques instants de repos pour permettre la descente des matières attardées, on relève la cage, et on la fait de nouveau descendre dans les mêmes conditions que la première fois. On la relève encore, mais cette fois à trois reprises successives, pendant chacune desquelles, au moyen d'un piston hydraulique, on pousse un tiroir qui décharge dans des trémies figurées à gauche le charbon, un mélange de charbon et de schiste bon à relaver, et le schiste.

Pendant la montée, l'eau qui se trouve au-dessus de la couche presque imperméable de charbon s'écoule par un tuyau, et on ne perd que la quantité entraînée par les produits mouillés.

Le lavoir Marsaut peut traiter 150 tonnes en dix heures, avec la force d'un cheval et la surveillance d'un enfant.

Le prix de revient du lavage d'une tonne de menu charbon est très différent suivant l'appareil employé; il varie de 0 fr. 25 à 1 fr. 25.

ANTHRACITE

En Pensylvanie, on effectue une préparation mécanique très soignée de l'anthracite, dans de grands ateliers appelés *breakers,* comprenant seulement des culbuteurs, des grilles, des cylindres broyeurs et des trommels. Ce combustible étant très pur, il est inutile de le laver; mais, à cause des conditions de son emploi, il est nécessaire de le classer avec le plus grand soin par grosseur.

TOURBE.

Disons un mot de la préparation mécanique la plus habituelle de la tourbe.

La tourbe extraite à la drague ou au louchet mécanique, ainsi que la tourbe molle extraite au grand louchet, est d'abord piétinée, puis moulée à la main, dans des moules en bois à fond filtrant.

Les tourbes moulées sont étendues sur le sol, retournées de façon que toutes leurs faces soient tour à tour exposées au soleil, superposées en châtelets ajourés de 6 à 10, puis en lanternes ajourées de 25 à 50. Les tourbes fermes extraites au grand louchet sont simplement mises en pilettes de 15 ou de 21, et retournées dans cet état. Dans l'un et l'autre cas, l'empilage pour la vente, qui suit la dessiccation, doit être opéré à temps, car trop sèche, la tourbe s'effrite et donne beaucoup de déchet; trop verte, elle ne sèche plus et donne un mauvais combustible.

A Marœuil-sur-Ourcq, les morceaux de tourbe extraits tombent sur une toile sans fin, devant laquelle est un ouvrier qui rejette à l'eau la tourbe de mauvaise qualité et qui laisse tomber la bonne dans un bateau où elle est piétinée. L'étendage se fait avec une brouette à deux roues dont le fond est constitué par deux chaînes sans fin plates, armées d'ailettes. En tirant la brouette pleine de tourbe, les espaces compris entre les ailettes s'emplissent de tourbe, et déposent à terre une paire de briquettes par $0^m,15$ de parcours.

La tourbe, en séchant, éprouve un retrait qui peut atteindre 60 et même 70 0/0 en volume. En 1876, la France a produit 333 000 tonnes de tourbe sèche, valant en moyenne 12 francs la tonne. Depuis lors, cette production a diminué.

UN DERNIER MOT

SUR LA PRÉPARATION MÉCANIQUE

La préparation mécanique des minerais se perfectionne de jour en jour. M. Maurice Bellom a décrit, dans les *Annales des mines*

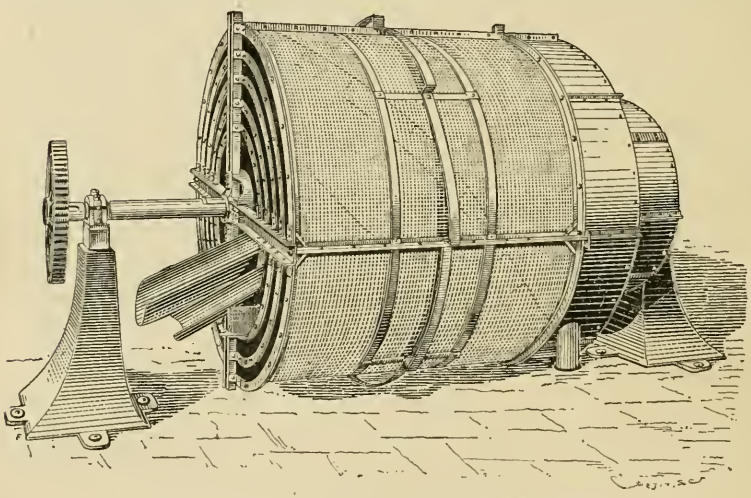


Fig. 117. — Trommel système Schmitt-Manderbach.

de 1891, diverses installations, qu'il a visitées dans la Saxe, dans le Hartz et dans la Prusse rhénane.

Pendant l'impression du présent ouvrage, M. Badoureau a eu l'occasion de visiter l'importante fabrique de machines de la maison Humboldt, à Kalk, près Cologne, et son atelier d'essai de préparation mécanique. Parmi les appareils de préparation mécanique, qu'il y a vus à l'étude ou en fabrication, il a noté les suivants :

Des élévateurs à godets de $1^{m},80$ de largeur, pour l'égouttage des charbons lavés ;

Des tables sans fin de triage de charbon, constituées par des

tôles articulées entre elles et passant sur deux poulies distantes de 20 mètres;

Des désintégrateurs Carr très puissants;

Des trommels débourbeurs Crickboom, dont l'enveloppe tourne lentement et dont l'arbre à sabres tourne extrêmement vite;

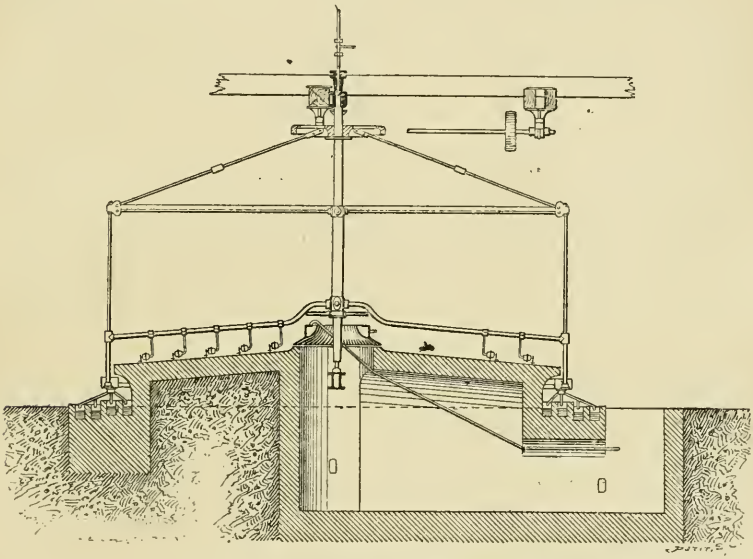


Fig. 118. — Table Linkenbach (coupe verticale).

Des trommels en spirale (système Schmitt-Manderbach perfectionné par Humboldt) destinés au traitement du charbon (fig. 117); ils évitent le frottement et le bris des gaillettes, et ils n'exigent ni une charpente solide, ni un grand emplacement, ni une force motrice considérable;

Des cribles de Bilharz destinés au minerai, et analogues au laveur à couronne Évrard pour le charbon, mais ayant seulement $2^m,50$ de diamètre;

Des tables rondes fixes, en ciment, de Linkenbach (fig. 118), atteignant 10 mètres de diamètre, au-dessus desquelles tour-

nent la décharge centrale de minerai et la crépine d'arrosage;

De petites tables de Rittinger, destinées à traiter des minerais peu complexes et armées de très grands couteaux;

Des tables à secousses latérales Stein et Petersen, constituées de la manière suivante : un caoutchouc est enroulé sans fin autour de deux poulies, dont les axes parallèles sont un peu inclinés sur l'horizon. Ces axes reçoivent des secousses dirigées suivant leur commune perpendiculaire; au moyen d'une roue à rochets, ces secousses sont utilisées pour donner au caoutchouc un déplacement quasi continu. Cet appareil traite au plus 200 kilogrammes de minerai par heure de la manière suivante : la lavée est donnée à l'un des angles supérieurs de la bande supérieure de caoutchouc, les matières légères descendent directement, les matières lourdes décrivent des paraboles plus ou moins ouvertes, comme sur la table de Rittinger, et sont chassées par des jets d'eau dans des conduites.

Au mois d'août 1891, la maison Humboldt fournissait à des tourbiers hollandais des désintégrateurs Carr, destinés à broyer la tourbe, et des trommels destinés à séparer à sec les matières textiles, propres à la filature et au tissage, des poussières utilisables comme litière de chevaux.

A la même époque, cette maison livrait à des extracteurs de phosphate de chaux, dans le but de réduire la proportion du carbonate de chaux et de l'argile ferrugineuse qui souillent leurs produits, des trommels, des spitzkasten et des tables Linkenbach.

CHAPITRE XIII

CONGRÈS INTERNATIONAL DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE EN 1889

Ainsi que nous l'avons dit dans la préface, un Congrès international des mines et de la métallurgie a été tenu à Paris, du 2 au 11 septembre 1889, sous la présidence de M. Castel, inspecteur général des mines.

Au sein de ce Congrès, les questions les plus controversées et les plus intéressantes ont été examinées par les hommes les plus compétents du monde entier.

Nous croyons devoir donner ici un résumé des travaux du Congrès relatifs à l'art des mines [1].

Séance du 3 septembre, présidée par M. Arnould, *directeur général des mines de Belgique.*

L'ordre du jour appelle la discussion du rapport présenté par M. Le Chatelier, ingénieur en chef des mines, sur les lampes de sûreté.

Avant d'aborder cette discussion, M. le président Arnould remercie de l'honneur qui lui est fait; il croit devoir présenter à M. Le Chatelier tous ses compliments pour son remarquable travail, et propose à l'assemblée de lui voter des remerciements, ce qui est adopté par acclamation.

M. Le Chatelier passe en revue les principaux types de lampes de sûreté adoptées dans les mines et montre, par la statistique des accidents, que la sécurité absolue est loin d'être atteinte.

Les causes d'accidents produits par les lampes peuvent se classer de la manière suivante :

1. Voir l'exposé complet des travaux du Congrès. (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale,* 1889.)

Ouverture des lampes. — Rupture des verres. — Défauts de jonction des différentes parties. — Altération des toiles métalliques, etc.

M. Fumat explique les conditions que doit remplir un bon éclairage dans les mines, et fait la démonstration de la lampe qu'il a inventée. Il fait remarquer que sa lampe, en usage depuis 5 ans, a déjà subi un perfectionnement important depuis 18 mois. Sur la demande de M. le président, il affirme que cette lampe brûle dans un milieu simplement combustible et ne s'éteint que dans un milieu explosif.

M. Janet passe en revue les différents systèmes de fermeture des lampes de mines, et plus spécialement de celles qui sont employées dans le Nord de la France.

M. Roberti, ingénieur au corps des mines de Belgique, rend compte d'expériences faites sur des lampes de sûreté du type Mueseler, dans le but de déterminer les causes du passage des flammes au travers des toiles métalliques et de rechercher l'influence du matelas d'air, qui existe à la base du verre. Par l'emploi de porte-mèches de différentes hauteurs et d'anneaux de liège servant à supprimer le matelas d'air, il a pu constater que le passage des flammes au travers des toiles métalliques était facilité par les porte-mèches élevés, et que le matelas d'air n'avait qu'une action insignifiante.

M. Brard montre les altérations apportées à la lampe primitive de Davy, comme dimensions, et attribue son insécurité à cette augmentation de volume. Pour lui, la lampe Marsaut présente toute la securité désirable, et il appelle l'attention des ingénieurs sur la nécessité d'un bon entretien des lampes.

M. Marsaut rend compte d'expériences faites pour constater l'échauffement de la lampe qu'il a inventée, dans un mélange de gaz d'éclairage et d'air. Il annonce qu'il enverra aux membres du Congrès qui lui en feront la demande, une brochure sur les lampes de sûreté expérimentées par les commissions du grisou dans les différents pays.

Séance du 5 septembre, présidée par M. Haton de La Goupillière, *directeur de l'École supérieure des mines de Paris.*

M. Le Chatelier présente une observation rectificative au sujet des lampes de sûreté, et constate l'extinction de la lampe Fumat dans un mélange explosif d'air et de grisou.

M. Castel fait part à l'assemblée de l'envoi, par la Société de géographie du Portugal, de plusieurs exemplaires de ses publications. M. da Costa Sequeira, délégué de cette Société, exprime tout l'intérêt que prend cette compagnie aux travaux du Congrès.

L'ordre du jour appelle la discussion du rapport de M. Mallard, inspecteur général au corps des mines, professeur de minéralogie à l'École supérieure des mines, sur l'emploi des explosifs dans les mines à grisou.

En donnant la parole à M. Mallard, M. le Président, au nom du Congrès, le remercie et le félicite pour le travail remarquable, et si plein de clarté, qu'il a présenté au Congrès.

M. Mallard rappelle les recherches entreprises en Angleterre, en Allemagne et en France, depuis l'apparition des explosifs à rapide déflagration. Il expose la question telle que l'ont théoriquement élucidée les travaux de la commission des substances explosives, avec le concours de l'administration des poudres de France. Les éléments caractéristiques et les circonstances essentielles de la déflagration sont : la température d'explosion, la vitesse d'explosion, la densité de la charge, le travail mécanique à effectuer, l'aptitude explosive.

Le rapporteur signale l'influence relative de chacun de ces éléments sur la sécurité du tirage des mines dans un mélange d'air et de grisou; passant à l'explication pratique de ces notions, il expose la classification des divers explosifs et signale ceux dont l'emploi paraît le plus recommandable, par suite des essais effectués dans plusieurs mines, et notamment à Angers, à Ronchamp et à Firminy.

En terminant, M. Mallard croit devoir présenter une observation générale sur les inconvénients que présente l'emploi des explosifs que fournit le commerce, sous des noms variés, mais sans indication de composition.

Sur la demande de M. le Président, M. François, directeur des travaux du fond de la Compagnie d'Anzin, rend compte à l'assemblée des essais effectués sur les matières proposées par la commission des substances explosives.

M. le Président remercie la Compagnie d'Anzin, ainsi que les autres sociétés minières qui ont procédé à des expériences analogues, du concours dévoué qu'elles ont donné aux recherches ordonnées par le gouvernement.

M. François fait un exposé des influences du bourrage sur l'emploi des explosifs et présente, sur cet objet, un mémoire de M. Petit, ingénieur de la Compagnie d'Anzin.

M. Barthelemy traite des conditions qui assurent la sécurité dans l'emploi des explosifs, notamment au point de vue du transport et de la manutention; il signale à cet égard les avantages des explosifs Favier.

M. Arnould expose les recherches qui ont été faites en Belgique, notamment à la Société des produits, sur la grisoutite, qui a fourni les résultats les plus satisfaisants dans les mélanges gazeux inflammables, ainsi que dans l'air chargé de poussières charbonneuses. Il annonce que, des essais ayant été institués par le gouvernement belge, il croit devoir, en attendant, réserver son appréciation sur la question.

Il signale un élément qui, selon lui, doit influer sur l'inflammation éventuelle du mélange grisouteux par la déflagration : c'est la température de ce mélange.

A propos des inconvénients que M. Mallard a indiqués pour l'emploi

d'explosifs de composition inconnue, il rapporte le fait d'un accident qui s'est produit dans une mine belge, par suite de la présence, dans la poudre employée, d'une certaine quantité de picrate.

M. Mallard émet l'avis que tout fabricant devrait être obligé par l'État d'indiquer explicitement la composition de ses explosifs.

M. Chalon, ingénieur civil, croit que le principal danger de l'emploi des explosifs réside dans la projection de particules incandescentes; selon lui, ni l'explosif, ni le bourrage ne doivent renfermer des substances capables de donner lieu à de semblables projections. M. Chalon apprécie, à ce point de vue, les divers explosifs en usage. Il présente ensuite des observations sur la législation des explosifs en France.

M. Mallard ne pense pas que la production de particules incandescentes offre le danger signalé par M. Chalon.

M. Brull expose diverses considérations sur l'emploi des explosifs; il parle notamment du coût de l'explosif, qui ne doit pas imposer à l'exploitant une trop lourde dépense.

M. Mallard fait remarquer que les substances recommandées par la commission des explosifs ne sont pas des matières coûteuses.

M. Bruneau présente ensuite quelques observations en réponse à celles de M. Chalon sur la législation française des explosifs.

Séance du 7 septembre, présidée par M. La Neve Foster, *inspecteur des mines en Angleterre.*

M. Mallard complète l'exposé qu'il a fait dans la dernière séance, en signalant que la recherche et l'emploi d'explosifs moins dangereux ne doivent pas faire perdre de vue la garantie de sécurité qui résulte des précautions à prendre dans le tirage des mines.

M. Levet expose un procédé d'abattage supprimant l'usage des explosifs, par l'emploi, notamment, de la pression hydraulique.

M. Dinoire, ingénieur aux mines de Lens, signale un système de fermeture de lampes au moyen d'un rivet de plomb, et donne la description et le mode d'emploi de la lampe Pieler.

M. le Président donne ensuite la parole à M. Reumaux, ingénieur en chef des mines de Lens, en le félicitant pour le remarquable travail qu'il a rédigé sur les questions se rapportant à la montée, à la descente et à la circulation des ouvriers dans les mines.

M. Reumaux passe en revue les divers modes employés pour cet objet, les échelles fixes, les fahrkunsts, les cages, ainsi que les principales circonstances de la circulation dans les travaux intérieurs.

M. Harré, ingénieur en chef du corps des mines de Belgique, signale l'opportunité d'établir, entre les mines d'un même bassin, l'uniformité des systèmes de signaux employés entre le jour et le fond.

Plusieurs membres échangent diverses observations relatives à l'usage de ces signaux.

M. LE PRÉSIDENT formule, en ce qui concerne les mines anglaises, quelques observations sur certains points du travail de M. Reumaux.

Il signale l'opportunité, dans l'établissement des statistiques relatives à la mortalité des ouvriers mineurs, d'envisager non seulement celle qui dérive des accidents, mais aussi la mortalité naturelle, au point de vue de la longévité, comparée à celle des ouvriers d'autres industries.

Séance du 10 septembre, présidée par M. DEL CASTILLO, *directeur de l'École des mines de Mexico.*

L'ordre du jour appelle la discussion du rapport de M. Chalon sur l'électricité dans les mines.

M. CHALON, avant d'aborder cette importante question, expose les avantages et les inconvénients de l'emploi de l'air comprimé dans les mines et plus spécialements aux mines de Blanzy, Il s'attache à démontrer que, si l'air comprimé est d'une sécurité absolue dans les mines grisouteuses, son installation est plus chère que celle de l'électricité, et l'entretien qu'il nécessite est plus coûteux. Traitant ensuite du transport de la force, il ne saurait trop engager les ingénieurs à se familiariser avec la théorie de l'électricité dynamique, qui se simplifie considérablement par l'assimilation avec l'écoulement des liquides [1]. Il montre comment on peut résoudre graphiquement les différents problèmes, et passe ensuite plus particulièrement à l'analyse de son rapport, limité à la question du tirage des mines, à celles de l'éclairage, des signaux, etc., M. Chanselle ayant traité, dans une brochure, le transport de la force par l'électricité et son emploi dans les divers travaux des mines.

Il est donné lecture d'une note de M. DARPHIN, ingénieur aux mines d'Anzin, sur une question de transport de force par l'électricité.

M. VIALLA lit une note sur l'allumage des mines par l'électricité, aux houillères de Lalle, dès 1863.

M. CASTEL revendique, pour le fonçage du puits du Lac (Ardèche), en 1851, la priorité de l'emploi de l'électricité, en France, comme moyen d'inflammation des mines. Il a publié, dans les *Annales des mines* de 1852, un travail sur cette question.

M. LIBERT, ingénieur au corps des mines de Belgique, donne communication d'une note sur l'emploi de l'électricité dans les mines, avec le règlement projeté par l'administration.

M. COXE explique comment, aux États-Unis, dans les mines d'anthracite, on utilise l'électricité pour le roulage souterrain.

1. Cette assimilation a été posée et démontrée notamment par M. Planté, par M. Decharme et par M. Badoureau. (Voy. *les Sciences expérimentales.*)

M. Fumat demande, en raison de la difficulté que présente l'éclairage par l'électricité, que de nouveaux essais à outrance soient faits sur les différents types de lampes de sûreté.

M. de Bovet expose dans quelles conditions il comprend que l'électricité soit employée comme moteur dans les mines, dans les pays dépourvus de combustibles et où les chutes d'eau sont éloignées. Il explique, en détail, une installation de ce genre, qu'il a étudiée avec M. Boutan dans la mine de Faria, au Brésil (voir chap. vii).

M. Mallard se joint à MM. de Bovet et Libert pour protester contre l'emploi des hautes tensions d'électricité dans les mines à grisou, et regrette que la question des lampes électriques ne soit pas plus avancée.

MM. Masson, Chalon, Roberti, Le Chatelier, etc., échangent un certain nombre d'observations sur l'état actuel et plus ou moins pratique des lampes électriques.

Séance du 11 septembre, présidée par M. Eckley Coxe, *ancien président de la Société des ingénieurs civils des États-Unis.*

Il est donné lecture d'une lettre de M. Masson, donnant le prix de revient d'une lampe à incandescence pour mine, et ses frais d'entretien par jour de douze heures, l'intensité étant d'une bougie.

M. Petiton donne communication d'un système de perforatrice à diamants fonctionnant à bras (machine Crœlius, voir chap. ii).

M. Syroczynski explique, en quelques mots, le genre de sondage pour pétrole, expérimenté avec succès en Galicie, et qui porte le nom de sondage canadien.

M. Guilhaumat donne ensuite lecture d'une note sur l'exploitation d'un gîte puissant très inflammable et fortement incliné (voir chap. iii).

M. Maignen fait une communication sur l'enrichissement des minerais traités par voie humide. Ce procédé est fondé sur le pouvoir absorbant du charbon; il comporte une décantation spéciale par une série de cônes superposés. L'appareil peut servir au lavage des boues et sables aurifères.

M. Foster donne lecture d'un travail sur la réforme, qu'il y aurait à apporter dans la statistique, pour que les chiffres publiés aient une valeur internationale.

M. Dujardin-Beaumetz croit aussi que la statistique minérale française aurait beaucoup à apprendre en se servant des méthodes employées par la statistique anglaise des mines.

M. Haton de la Goupillière explique les difficultés que présente la publication des résumés de statistique étrangère, quand ils n'ont pas une origine officielle. Il se joint à M. Foster pour souhaiter qu'il soit établi une statistique minérale complète.

M. das Neves Cabral, inspecteur général des mines de Portugal, et

M....., délégué de l'Administration des mines d'Espagne, se feront un plaisir d'adresser les documents relatifs à la statistique des mines aux différents ministères français que ces publications pourraient intéresser.

M. Syroczynski comprend la proposition de M. Foster comme l'établissement d'une statistique internationale de production minérale de tous les pays; il faudrait donc s'entendre sur un système de notations uniformes, comme on a cherché à le faire déjà pour le coloriage des cartes géologiques.

M. Dujardin-Beaumetz désirerait un accord préalable entre les différents pays, pour qu'on n'emploie que des termes identiques, de même signification et de même valeur.

M. Witmeur émet le vœu de l'institution d'une statistique internationale minérale.

Après un échange de vues entre MM. Haton de la Goupillière, Mallard et Foster, sur l'étendue, la forme et la rédaction d'un semblable vœu exprimé par le Congrès, la proposition formulée par M. Haton de la Goupillière est mise aux voies et adoptée.

Le Congrès émet le vœu qu'une *statistique internationale minière soit instituée le plus tôt possible*, et que l'on renvoie l'étude de cette question au plus prochain Congrès international des mines et de la métallurgie.

Il nous paraît que le Congrès, dont nous venons de résumer une partie des travaux, a rendu à l'industrie minérale du monde entier un service considérable en résolvant ou au moins en posant nettement les principales questions concernant la sécurité et l'économie.

Tout exploitant devrait avoir constamment à sa portée les principaux mémoires cités ci-dessus.

Nous nous sommes efforcés, pour notre part, de faire profiter nos lecteurs, sur divers points, des lumières du Congrès.

CHAPITRE XIV

EXEMPLES

L'instruction d'un ingénieur dépend essentiellement du nombre des mines qu'il a vues de ses yeux. Après avoir appris comment *on devrait exploiter*, il est nécessaire qu'il voie comment *on exploite pratiquement*.

De nombreuses descriptions de mines se rencontrent dans les *Annales des mines*. Elles forment, en majeure partie, la matière des *journaux de voyage* des élèves de l'École supérieure des mines de Paris. Au moyen de nos souvenirs personnels, complétés principalement par ces documents, nous allons très rapidement présenter au lecteur quelques mines de substances très diverses, offrant toutes, à certains points de vue, des caractères intéressants.

SEL

Wieliczka (Galicie)[1]. — Ce gîte de sel est tout entier dans la miocène. Il comprend, à la base, trois groupes de couches salines dirigées N. 75° E., appartenant à l'étage *helvétien*, et plongeant en général au sud, et à la partie supérieure des couches horizontales d'argile, renfermant des amas de sel empruntés aux couches sous-jacentes, et formant la base de l'étage *tortonien*. Ce gisement s'étend sur 3600 mètres de l'est à l'ouest, sur 800 mètres du nord au sud, et sur une hauteur de 286 mètres.

On y rencontre trois variétés de sel : le *szybik* est cristallisé en gros éléments et pur; le *vert* est cristallisé en gros éléments et mêlé à de l'an-

1. M. Delloue, 1886.

hydrite et à de l'argile; le *spiza* est cristallisé en petits éléments et mêlé à du sable.

Quand la proportion de sable augmente, le spiza prend le nom de *smulec*, et quand elle augmente davantage, il devient un grès à ciment de sel.

La mine comprend quatre puits et sept étages.

Le szybik se découpe dans la mine en cubes de 40 kilogrammes, que l'on vend pour la consommation.

Le spiza et le vert s'abattent à la poudre pour usages industriels, quand ils ne contiennent pas plus de 10 0/0 d'impuretés. On commence par pratiquer des rouillures à la main[1] et des trous de mine au perforateur Lisbet.

Un trou de mine de 1 mètre se fait en 6 minutes dans le sel vert, plus 11 minutes pour la pose de l'affût et de l'outil.

La mine de Wieliczka a produit, en 1875, à 11 francs la tonne, 47 550 tonnes de sel en morceaux, et 21 506 tonnes de sel moulu. Elle occupe environ 600 ouvriers.

Hallstadt (Salzkammergut)[2]. — Les salines d'Hallstadt sont situées dans l'étage moyen du keuper. Le sel y est mêlé à 25 ou 30 0/0 d'argile et noyé dans un calcaire marneux.

Les étages ont 40 mètres de hauteur. On exploite chaque étage par des chambres de dissolution. A partir de la mère galerie située au bas de l'étage, on atteint l'emplacement d'une chambre, et on y fait un traçage par galeries parallèles ou en quinconce. De l'extrémité de la chambre on rejoint l'étage supérieur par un montage à 45°, par lequel on introduit de l'eau pure recueillie à la sortie du calcaire au-dessus du gîte. On a eu soin préalablement de barrer la galerie d'accès de la chambre. L'eau ronge et abat les piliers; l'eau la moins salée surnage et attaque le toit et les parois. Les impuretés se déposent sur le fond de la chambre. La chambre s'élève et grandit à la fois en hauteur et en largeur. De temps en temps, on siphone par-dessus le barrage de la galerie d'accès une partie d'eau, qui a atteint 26 0/0 de salure, et on la remplace par une égale quantité d'eau pure.

On conduit la saumure à des bassins d'évaporation en fer-blanc où elle revient à 1 fr. 58 le mètre cube. Ces bassins sont chauffés actuellement par du lignite brûlé sur des grilles.

L'ensemble des salines du Salzkammergut (Hallein, Aussee, Ischl Hallstadt) a envoyé, en 1859, à Gmunden, 65 054 tonnes de sel revenant à 34 francs la tonne.

1. Les haveuses, que nous avons vues en service en 1876, sont aujourd'hui délaissées.

2. M. Keller, *Annales des mines*, 1862.

HOUILLE

Anzin (France)[1]. — La Compagnie d'Anzin possède et exploite dans le département du Nord 8 concessions, ayant ensemble une étendue de 28 054 hectares.

Le terrain houiller franco-belge appartient à l'étage houiller moyen de M. Grand-Eury. Il débute par des schistes à phtanites et par des grès stériles, principalement développés vers l'est et vers le nord; puis il comprend des schistes (rocs) et des grès (querelles) avec charbon maigre, et il se termine par des schistes et des grès avec charbon gras, principalement développés vers l'ouest et vers le sud. Après son dépôt, ce terrain a subi, d'après MM. Cornet, Briart, Gosselet, Olry, les principaux phénomènes suivants :

1° Plissement de la crête du Condros le coupant en deux (bassin de Namur au nord et bassin de Dinant au sud);

2° Fracture par la faille de Boussu et enfoncement du toit de cette faille;

3° Fracture par le cran de retour dirigé N. 75° E., et plongeant d'environ 50° au midi, et enfoncement du toit de cette faille;

4° Fracture contemporaine (ou postérieure) par la faille d'Abscon, ayant la même direction avec un plongement d'environ 80° au midi, et enfoncement du toit de cette faille;

5e Fracture plongeant à peine vers le midi par la grande faille du midi, et refoulement vers le nord du toit de cette faille, contrairement à la règle de Schmidt;

6° Énormes érosions aplanissant cette région très montagneuse.

Dans une dépression de ce terrain, on a trouvé à la fosse Roncourt un conglomérat dur à gros éléments, formé aux dépens des bords méridionaux du bassin, à l'époque triasique ou permienne.

Puis il s'est déposé les couches suivantes :

1° Le torrent d'Anzin, terrain sableux, aquifère et salé, peu étendu ;

2° L'argile du gault en quelques rares points;

3° Le grès vert assez rare, mais parfois très puissant;

4° Le tourtia, conglomérat glauconieux;

5° Les dyèves, terrain argileux étanche;

6° Les craies marneuses;

7° Les craies à micraster, très aquifères;

8° Les durs bancs (tertiaire inférieur);

9° Les sables boulants (alluvions modernes).

L'ensemble de ces morts terrains se réduit à presque rien à l'est de la

1. M. Olry, *Bassin houiller de Valenciennes* (partie comprise dans le département du Nord), 1886.

concession d'Anzin, mais il atteint 100 et 120 mètres à son extrémité occidentale.

La coupe nord-sud suivante est faite vers la frontière de France et de Belgique.

En ce point, on rencontre successivement en allant du nord au sud :

1° Des couches plongeant vers le sud avec des charbons maigres anthraciteux (environ 8 0/0 de matières volatiles), maigres flambants (10 0/0), et demi-gras (17 0/0);

2° Des couches plongeant vers le sud, puis retroussées vers le nord,

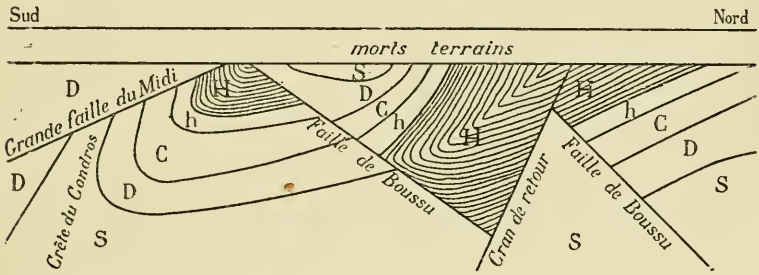


Fig. 119. — Coupe verticale du bassin houiller franco-belge vers la frontière franco-belge.

H, terrain houiller; — h, schistes à phtanites et grès stériles; C, calcaire carbonifère; — D, dévonien; — S, silurien.

avec des charbons gras pour coke et forges (22 0/0), gras à longue flamme (26 0/0), et gras pour gaz (31 0/0);

3° A Quièvrechain, dans la concession de Crespin, un bassin, dont les couches supérieures, seules explorées jusqu'ici, ont 35 0/0 de matières volatiles.

La Compagnie d'Anzin possède au moins 70 couches de 45 mètres de puissance totale, donnant tous les intermédiaires entre le maigre anthraciteux à 6 0/0 et le gras à gaz à 34 0/0. Le flénu à matières volatiles abondantes et oxygénées manque.

Les premiers travaux ont commencé à Fresnes en 1716. Aujourd'hui, la Compagnie d'Anzin possède 18 fosses en activité, et a extrait, en 1891, 2 933 724 tonnes de houille.

Toutes les couches sont minces, et on les exploite généralement par la méthode des grandes tailles chassantes. On applique des perforatrices de divers systèmes.

Grâce aux récents perfectionnements de l'aérage et à une meilleure utilisation de la main-d'œuvre, la production journalière moyenne d'un ouvrier du fond s'élève aujourd'hui à 1108 kilogrammes.

La Compagnie d'Anzin a créé pour ses ouvriers de nombreuses institutions de bienfaisance dont nous avons parlé au chapitre X. Ceci ne l'a pas empêchée de subir de nombreuses grèves.

Blanzy (France)[1]. — On exploite actuellement la première couche, puissante de 15 à 18 mètres, inclinée de 25 à 30°, séparée en deux parties à peu près égales par une barre grise de grès avec noyaux de quartz et fournissant du charbon demi-gras, et la troisième couche, puissante de 8 à 12 mètres, inclinée de 20 à 25°, et donnant du charbon à coke.

Il y a plus d'un siècle qu'on a commencé à exploiter la concession de Blanzy par piliers abandonnés. Puis on a appliqué le foudroyage et enfin le remblai. Aujourd'hui on exploite chaque étage de 15 mètres en 6 ou 8 tranches en montant. Les galeries principales de roulage sont à l'amont ou à l'aval pendage de la région exploitée.

Les particularités les plus intéressantes sont le filet de sûreté, l'emploi judicieux de l'air comprimé, la traction mécanique et les institutions ouvrières.

En 1887-1888, la Compagnie de Blanzy a octroyé à ses 5182 ouvriers des libéralités représentant un total de 1 118 995 fr. 89. La production annuelle est d'environ 900 000 tonnes.

Épinac (France)[2]. — Cette concession de 6241 hectares est située à l'est du bassin d'Autun. Elle exploite les couches inférieures de ce bassin qui reposent sur le porphyre quartzifère, avec intercalation de roche verte.

Quand les couches ont moins de 2 mètres de puissance, on les prend par grandes tailles montantes; quand elles ont de 2 à 10 mètres, on les décompose en tranches inclinées qu'on prend par grandes tailles chassantes en montant.

Le lavage du charbon est très soigné à Épinac.

La production de 1888 a été de 114 300 tonnes.

La mine d'Épinac est reliée par voies ferrées à la ligne d'Étang à Chagny et au canal de Bourgogne.

Elle se caractérise surtout par le mode d'extraction du puits Hottinguer, décrit au chapitre VII.

Nous donnons ci-contre un croquis de la recette supérieure de ce puits.

1. M. Balotta, 1889.
2. M. Paulmar, 1887.

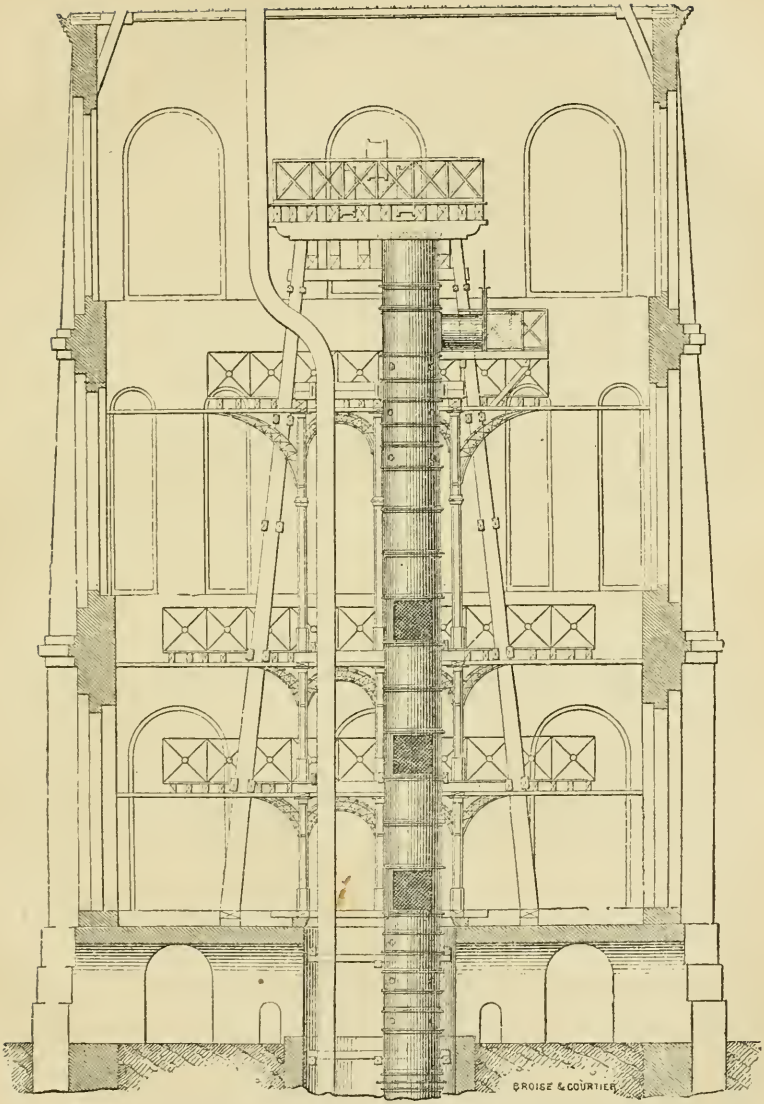


Fig. 120. — Extraction pneumatique à Épinac.

GRAPHITE

Krumau (Bohême)[1]. — Ce gisement, situé au S.-W. de Budweis, est constitué par des éruptions de calcaire, de serpentine et de graphite, qui paraissent s'être interstratifiées vers l'époque cambrienne dans les lits de gneiss de la Bohême. Le graphite est tantôt dur, tantôt mou, par suite de la décomposition des roches mélangées.

Ces gisements ont une puissance variable de 0 à 20 mètres, et une inclinaison généralement notable.

On les exploite par diverses méthodes et on les remblaie. Les matières les plus pures sont triées à la main. Les autres sont soumises à un lavage après avoir été broyées si elles sont dures.

Suivant qualité, les produits servent à faire des crayons, à être projetés sur les parois internes des machines soufflantes, à fabriquer des creusets, à noircir divers objets, à garnir les moules des fonderies.

En 1872, les mines de Bohême ont produit 23 673 tonnes de graphite.

DIAMANT

Kimberley (cap de Bonne-Espérance)[2]. — Ce gisement, découvert en 1867, est actuellement en pleine exploitation. Kimberley est aujourd'hui une ville de 20 000 âmes reliée par voie ferrée à Port-Élisabeth, et possédant tout ce qui caractérise la civilisation la plus raffinée. Elle va même être incessamment le siège d'une *exposition universelle!*

On suppose généralement, avec M. de Chancourtois, que le diamant a dû se former par oxydation partielle et lente d'hydrogène carboné, mais on ne sait pas dans quelle roche il a pris naissance. On sait seulement qu'il a été arraché en même temps que de nombreux minéraux et des débris plus ou moins volumineux de roches variées, et amené près du jour par des éruptions boueuses et itératives de bronzite (silicate ferromagnésien), associée à un peu de calcite et de silice.

Trois hypothèses peuvent expliquer la pression qui a produit la poussée : force expansive de la vapeur d'eau; force expansive des hydrocarbures gazeux qui ont pu donner naissance au diamant; affaissement d'une portion de l'écorce terrestre. Certaines parties de la brèche éruptive renferment une sorte de grisou, qui est peut-être un reste du gaz qui a pro-

1. M. Bonnefoy, *Annales des mines*, 1879.
2. M. Boutan (*Encyclopédie chimique* de Frémy).

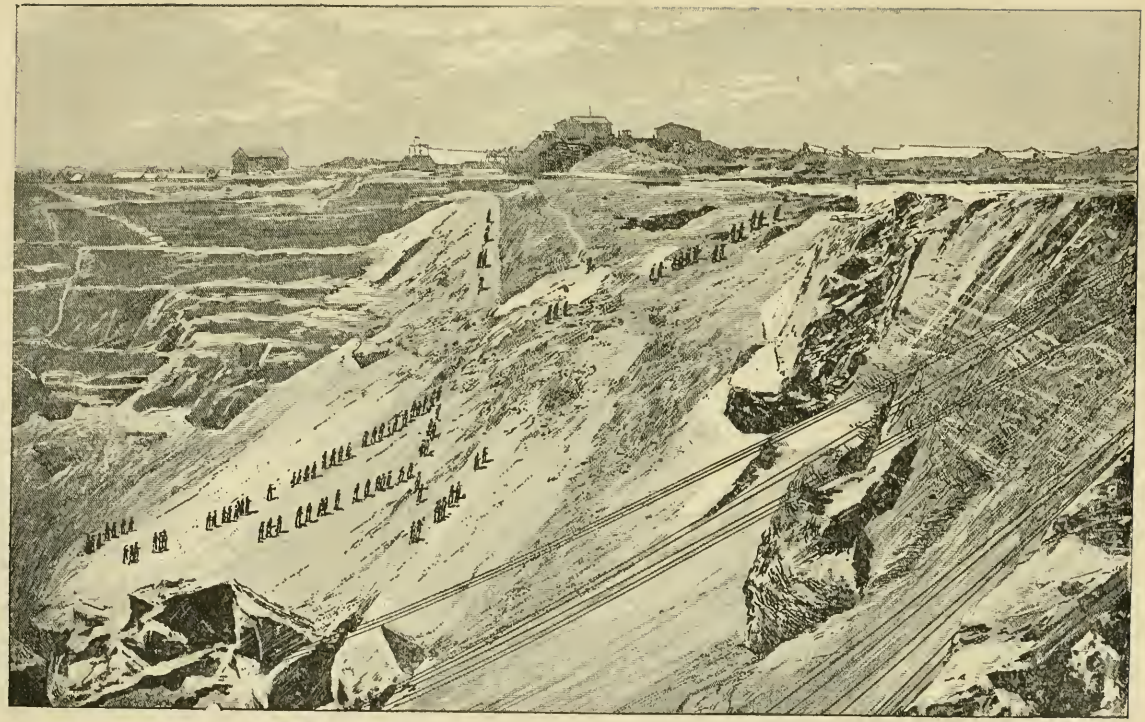


Fig. 121. — Mines de Kimberley (diamant).

duit le diamant. Elle contient en moyenne 1 gramme de diamant par mètre cube. Le plus gros diamant trouvé pesait 94 grammes.

La surface a été partagée à l'origine en *claims,* d'environ un are chacun, distribués aux premiers occupants. Ces concessions se sont depuis, tour à tour, agglomérées ou divisées. En 1886, onze compagnies possédaient à elles seules presque tous les 420 claims.

On abat la roche à la poudre, on la laisse se désagréger à l'air et on la soumet à une préparation mécanique. On élargit les talus qui bordent l'excavation, au fur et à mesure qu'on l'approfondit.

En 1882, cette exploitation occupait 720 blancs et 4000 noirs, et l'excavation avait 300 mètres de long, 200 mètres de large et 100 mètres de haut.

En 1885, on a inauguré l'exploitation souterraine, beaucoup plus rationnelle que l'exploitation à ciel ouvert.

D'autres gisements analogues se trouvent dans le voisinage, et on y rencontre également des gisements d'alluvion, provenant de la désagrégation de la tête des gisements éruptifs.

PÉTROLE

Bakou (Russie)[1]. — Le gîte de pétrole de Bakou, compris dans la péninsule de l'Apcheron, au bord de la mer Caspienne, appartient à l'étage *néogène* et surtout à l'étage *oligocène,* et se trouve principalement concentré dans les cuvettes formées par des plis synclinaux. Ce pétrole, essentiellement formé d'oléfines $C^n H^{2n}$ provient, ainsi que M. Chesneau l'a dit, croyons-nous, le premier, de l'action de l'eau sur la fonte en fusion[2] du centre de la terre. Des volcans de boue sont encore actuellement en activité dans le voisinage, et rejettent de la vapeur d'eau, du naphte gazeux et de la boue pyriteuse.

L'exploitation de ce gîte superbe a pris seulement une grande importance dans les dernières années. Voici comment on opère : on commence par creuser à la corde ou à la tige des trous de sonde qui dépassent 200 mètres de profondeur, et on les tube avec de la tôle de fer. Dès que le pétrole est atteint, il monte avec du sable; s'il n'atteint pas le niveau du sol, on l'extrait avec des seaux (jelonka) contenant jusqu'à 500 kilogrammes, dont le fond mobile se ferme par son propre poids. Ces seaux sont rattachés par des câbles en acier à des treuils à vapeur. Si on a la bonne fortune de tomber sur un puits jaillissant, on capte la fontaine avec un capuchon en

1. M. Chapuy, *Mémoire de voyage,* 1887; M. Maurice Cosserat, *Notes de voyage,* 1890 (Société industrielle d'Amiens); M. Henri Deutsch, *le Pétrole* (Bibliothèque des sciences et de l'industrie).

2. *Les Sciences expérimentales,* IIIe partie, ch. IX.

fonte (kalback), dont on coiffe le tube pour diriger le jet dans un réservoir.

L'extraction, qui n'était que de 3340 tonnes en 1849, et de 24 800 tonnes tonnes en 1872, a atteint en 1886 le chiffre énorme de 1 850 000 tonnes. Le naphte brut vaut actuellement sur place environ 3 francs la tonne. On soumet ce produit à une distillation discontinue ou continue, et on obtient successivement des produits de plus en plus lourds et de moins en moins volatils : des essences, dont les plus légères portent le nom impropre de *benzine*, des huiles lampantes (*Kérosène*) et des huiles *solaires*. Le résidu est un excellent combustible liquide désigné sous le nom d'*astatki*. On peut encore, par une distillation à plus haute température, en extraire des huiles *lubréfiantes*. Toutes les variétés d'huiles de pétrole doivent être purifiées par un lavage à l'acide sulfurique, puis à la soude du commerce.

Actuellement, il n'est question de rien moins que de relier Bakou à la mer Noire et au golfe Persique par de longs tubes, à travers lesquels de puissantes machines forceraient le pétrole à couler, et au sortir desquels il serait chargé dans des bateaux-citernes longs de 75 mètres et larges de 8 à 9 mètres, qui le porteraient en tous les points du globe.

Le 31 octobre 1890, il n'y avait encore de posé qu'un petit tube de 10 centimètres de diamètre, appartenant à la maison Nobel frères, entre Mikhaïlovo et Kvirili, c'est-à-dire sur un parcours de 60 kilomètres environ, à la montée du Sourame pour obvier aux retards que subissait à cet endroit l'expédition des wagons-citernes, les locomotives ne pouvant en remorquer à la fois qu'un très petit nombre sur la rampe très raide du Sourame.

FER

Sommorostro, près Bilbao (Espagne) [1]. — Ce gisement est cité par Pline. Il est exploité depuis la fin du moyen âge et surtout depuis une vingtaine d'années.

Il comprend dans des couches cénomaniennes, à *Requienia lœvigata*, les trois sortes suivantes de minerai, sans compter le carbonate de fer blanc inexploité jusqu'ici :

1° Du *campanil*, hématite rouge provenant d'altération de la sidérose et associée à de la calcite;

2° De la *vena dulce*, minerai analogue, mais plus tendre et plus riche;

3° Du *rubio*, hématite brune à gangue de quartz et d'argile; ce minerai est dur, sa poussière est jaune, sa surface est mamelonnée et à éclat métallique; il est essentiellement superficiel.

La puissance totale atteint parfois 73 mètres; le mur est un grès schisteux ou micacé, et le toit est un calcaire argileux.

1. M. Baills, *Annales des mines*, 1879.

Diverses compagnies, principalement anglaises, exploitent ce magnifique gisement à ciel ouvert. Elles possèdent de nombreuses voies ferrées, des couloirs et des voies aériennes du système Hogdson, à câble unique porteur et moteur, ou du système Bleichert, à câble porteur et à câble moteur. Ces voies aboutissent à des points d'embarquement situés en général sur le Nervion, rivière qui passe à Bilbao, et qui a malheureusement à son embouchure une barre très dangereuse, arrêtant les navires de plus de 1500 tonneaux.

On a extrait, en 1882, 3 700 000 tonnes de minerai. Le prix de revient à la tonne sur navire varie de 5 à 20 francs suivant les conditions d'emplacement.

Mokta-el-Hadid (province de Constantine)[1]. — Ce gisement, déjà exploité par les Romains, a reçu des Arabes un nom qui signifie « coupure de fer ».

Il est interstratifié, dans l'étage des gneiss de Bône, avec des schistes micacés à grenats, des pyroxénites et des calcaires cipolins. Le mur est schisteux, le toit est un calcaire cipolin quelquefois remplacé par un schiste tendre peu grenatifère; l'épaisseur est de 5 mètres, elle dépasse 15 mètres dans les renflements, l'inclinaison est de 15° à 45°. Le gîte est reconnu sur 1600 mètres en direction.

Le minerai est un mélange de fer magnétique et de fer oligiste manganésifère. Il rend 60 0/0 de fonte au haut fourneau.

L'exploitation se fait par travaux à ciel ouvert tant que le terrassement rend le cinquième de minerai, et, dans le cas contraire, souterrainement, par tranches inclinées. On épuise par bennes et par pompes.

Le chemin de fer de 35 kilomètres, qui relie la mine au port de Bône, pénètre dans les travaux souterrains sur 1200 mètres de développement, et y reçoit le minerai exploité souterrainement, ainsi que le minerai exploité à ciel ouvert et jeté dans des puits de chute.

On a extrait, en 1884, 187 247 tonnes à 6 fr. 95 sur le carreau, mais on pourrait augmenter notablement cette production.

ZINC

Moresnet (Belgique)[2]. — Le calcaire carbonifère, reposant sur le terrain dévonien et recouvert par le terrain houiller, est plissé dans la direction N. 50° E., et traversé par quatre filons perpendiculaires à la direction du plissement, remplis à la partie inférieure de blende, de galène

1. M. Mercier, 1885.
2. M. Mettrier, 1888.

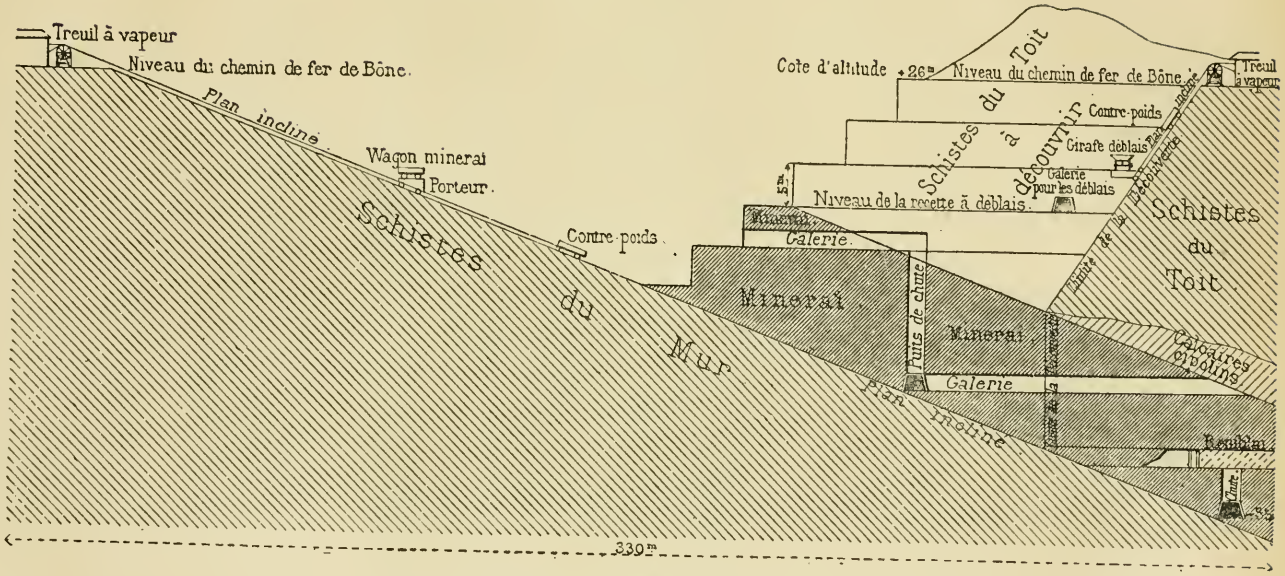


Fig. 122. — Découverts de Mokta-el-Hadid (Algérie).

et de pyrite, et transformés, à la partie supérieure, quand le filon traverse le calcaire carbonifère, en puissants amas de calamine.

On a exploité ces gisements par la méthode des tranches horizontales.

PLOMB ARGENTIFÈRE

Linares (Espagne)[1]. — La ville de Linares est reliée par un embranchement à Vadollano, gare de la ligne de Madrid à Cordoue. Le district qui l'entoure comprenait, en 1877, 250 mines et 7 fonderies.

De nombreux filons à peu près verticaux, affectant la direction N. 21° E. (Alpes occidentales) ou N. 67° E. (Alpes principales), traversent un massif granitique ainsi que les schistes, les grès triasiques et les grès tertiaires qui le surmontent.

A la partie supérieure ils contiennent des minerais oxydés et carbonatés de cuivre et de plomb, mais, vers 100 mètres de profondeur, ils ont généralement une grande richesse en galène.

La profondeur des mines atteignait seulement 260 mètres en 1877; on exploitait généralement par gradins droits sans remblai, en employant la poudre dans le filon, et la dynamite dans le granite. MM. Roche et Badoureau ont vu extraire un bloc de galène massive de plus de 4 mètres cubes.

En 1875, le district a produit 62 000 tonnes de *sulfures* (galène pure à 75-80 0/0 de plomb, et à 250 à 700 grammes d'argent à la tonne de plomb), et 24 000 tonnes de *carbonates* (galène impure à 50 0/0 de plomb et à 500 à 800 grammes d'argent à la tonne de plomb).

Leadville (États-Unis)[2]. — Leadville a été fondée à plus de 3000 mètres d'altitude, près des riches gisements découverts en 1874 et exploités depuis 1877.

Ils sont constitués par un filon-couche à peu près horizontal au contact du calcaire carbonifère bleu et du porphyre blanc de Leadville.

Ce filon contient les minerais les plus variés, carbonatés et sulfurés.

La propriété minérale est prodigieusement divisée à Leadville. Quelques exploitants suivent le gîte à partir de son affleurement par un plan incliné, d'autres le recherchent en profondeur par des puits verticaux.

On fabrique sur place du plomb, de l'argent et de l'or, et on vend du minerai à des fondeurs étrangers.

1. M. Roche, 1877.
2. M. Hébert, 1884, et M. Garnier, 1886.

PYRITE DE CUIVRE

Région de Huelva (Espagne et Portugal)[1]. — Ces mines paraissent avoir été connues et exploitées par les Celtibères; les Phéniciens, qui découvrirent l'Espagne au XIe siècle avant Jésus-Christ, les Carthaginois,

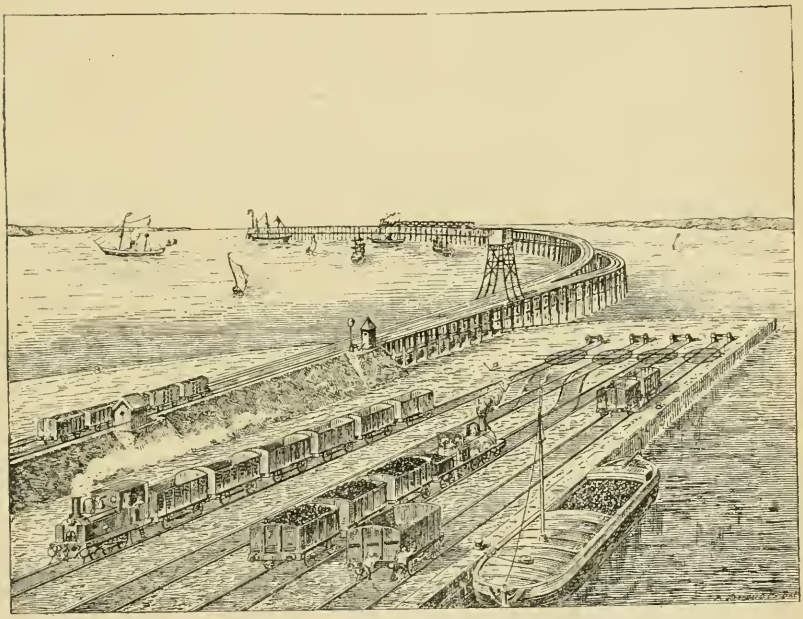


Fig. 123. — Môle de Huelva.

les Romains leur succédèrent tour à tour. Depuis le règne de Philippe II, cette exploitation a été reprise, et dans ces dernières années elle a acquis une activité jusqu'alors inconnue. En 1887, on a extrait de l'ensemble de ces mines 2 375 014 tonnes de minerai, contenant environ 40 000 tonnes de cuivre. Ces mines exportent par les ports de Huelva et de Pomarao du minerai brut, du minerai lavé, de la matte de première fusion et du cuivre cémenté.

1. M. de Launay, *Annales des mines*, 1889.

Les gîtes se trouvent généralement dans l'étage carbonifère du *culm*, qui a été plissé dans la direction des Ballons (N. 70° W.), et traversé par des venues de porphyre. La pyrite est montée avec ou après le porphyre sous forme d'éruption filonienne, et a produit des amas affectant la même direction. Elle a métamorphisé énergiquement les roches encaissantes. La partie supérieure des filons s'est transformée en un puissant chapeau de fer. Cette combustion continue encore, et on constate dans certaines galeries une température très élevée.

L'exploitation varie suivant les conditions locales. A la Peña, le filon forme le flanc d'un côteau. On l'attaque en gradins comme une carrière quelconque adossée à une montagne. A Rio-Tinto, le gîte est séparé d'une vallée profonde par une colline étroite. On y fait une immense tranchée à plusieurs étages (longueur, 500 mètres; largeur, 125 mètres; profondeur, 120 mètres, dont 90 en pyrite), et on fait communiquer l'étage inférieur avec la vallée par un tunnel de 2100 mètres de longueur et de 4 mètres sur 4 mètres de section. A San-Domingos, le filon affleure sur un plateau; on l'attaque par une tranchée à ciel ouvert, analogue à celle de Rio-Tinto, au-dessous de laquelle sont préparés quatre étages souterrains. Un puits vertical sert à l'épuisement, et deux tunnels inclinés à l'extraction.

L'abattage se fait à la dynamite dans les conditions indiquées au chapitre IV. Le prix de revient sur place d'une tonne de pyrite est à peine de 3 à 5 francs.

Le môle de Huelva, qui a été décrit au chapitre VII et qui a coûté 5 millions de francs, est une véritable merveille qui permettra probablement bientôt à ce port de rivaliser avec celui de Lisbonne.

CUIVRE, ÉTAIN ET PLOMB

Cornwall (Angleterre)[1]. — Ces gisements sont constitués par des filons de tourmaline associée à des minerais divers et traversant, près de leur contact, le granite à mica blanc, et les schistes dévoniens, dits *killas*, qui le recouvrent.

On abat à la poudre, on exploite par gradins droits ou quelquefois par gradins renversés, on épuise par des pompes mues par des machines à vapeur très perfectionnées.

En 1878 on a extrait :

15 045	tonnes de minerai	d'étain,
49 619	—	de cuivre,
1 349	—	de plomb,
Etc.		

1. M. Larivière, 1883.

ALLUVIONS D'ÉTAIN

Perak (Malacca)[1]. — Ce gisement, existant sur la côte ouest de la péninsule malaise, est formé aux dépens de filons d'étain, inexploités d'ailleurs, qui recoupent le granite blanc à tourmaline et presque sans mica.

Sous un recouvrement stérile de $7^m,50$, argilo-sableux, on trouve une couche de $2^m,25$ d'argile blanche avec rognons de quartz et avec 1 0/0 environ de cassitérite. Elle repose elle-même sur un mur de kaolin blanc.

Les Malais exploitent à ciel ouvert par des moyens primitifs, et les Chinois opèrent avec plus de soin.

On prépare mécaniquement et on traite métallurgiquement sur place le minerai extrait.

En 1884, on a fabriqué dans le royaume de Perak 10 710 tonnes d'étain.

MERCURE

Almaden (Espagne)[2]. — Le gisement de cinabre d'Almaden, appelé à juste titre « le joyau de la couronne d'Espagne », a été mis en exploitation par les Phéniciens, et la ville voisine a reçu beaucoup plus tard des Arabes un nom qui signifie « la mine ».

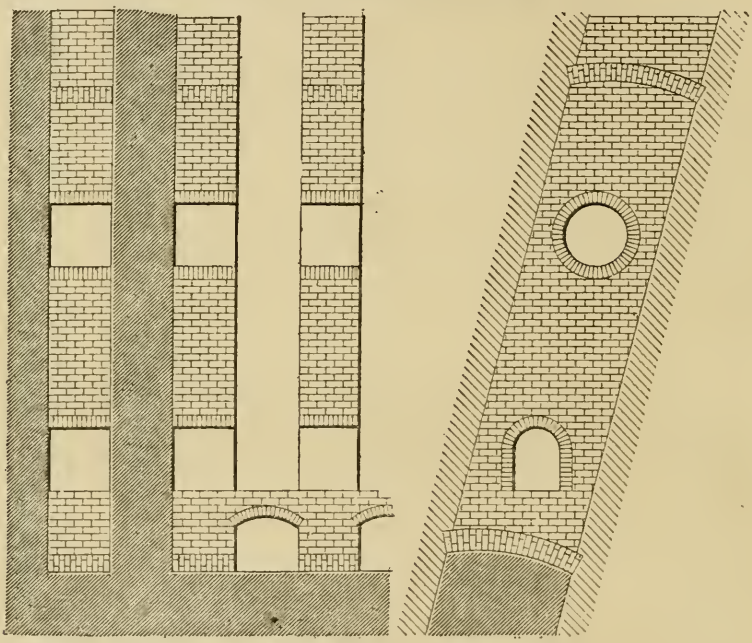
Il comprend trois filons sensiblement dirigés de l'est à l'ouest : *San Pedro y san Diego* au sud, et les deux autres voisins l'un de l'autre, *San Francisco* et *San Nicolas*. Leur puissance collective est de 25 mètres, et ils sont reconnus en direction sur 180 mètres.

Ces filons résultent de l'imprégnation par du cinabre de couches de quartzite ou de grès presque verticales, interstratifiées au milieu des schistes. Le cinabre est rarement cristallisé. Il est parfois accompagné de quartz, de sulfate de baryte, de pyrite de fer et de mercure natif.

L'exploitation comprend deux champs distincts constitués, l'un par le filon San Pedro y San Diego, et l'autre par les deux autres filons et le nerf intercalé. Chaque étage a 25 mètres de hauteur. On fait d'abord partir du puits central, *San Theodoro*, un travers-banc vers les filons, et au centre de chaque champ d'exploitation on mène une galerie de direction. On exploite de haut en bas une zone centrale par la méthode des gradins, en la boisant provisoirement. On enlève ensuite, par la méthode verticale ascendante, des colonnes de minerai larges de $3^m,50$, situées de part et

1. M. de Morgan, *Annales des mines*, 1886.
2. M. Küss, *Annales des mines*, 1878, 1879, 1887.

d'autre de la zone centrale, en réservant entre elles des piliers d'égale largeur, et on les remblaie soigneusement, en même temps que les parties correspondantes de la zone centrale, avec une maçonnerie de briques et de grès dur. Enfin on enlève les réserves par la méthode verticale descendante, et on crée ainsi des vides sur lesquels on jette des ponts en direction pour établir la continuité des galeries d'allongement.



Élévation. Coupe.

Fig. 124 et 125. — Mine de mercure d'Almaden (méthode verticale).

On extrait 60 tonnes environ par jour, de 350 mètres de profondeur, au moyen de 5 postes de 8 mules, travaillant à tour de rôle pendant 3 heures.

La production annuelle est classée entre les quatre catégories suivantes :

2000 à 3000	tonnes de	*métal* (gros riche)	tenant en moyenne	20 à 25 0/0.
8000 à 9000	— de	*china* (gros moyen)	—	7 à 8 —
2000 à 3000	— de	*solera* (gros pauvre)	—	0 à 1 —
3000 à 4000	— de	*babisco* (menu aggloméré)	—	8 à 9 —

Toute l'extraction est transformée sur les lieux en mercure, qui revient environ à 2 £ la bouteille de $34^{kg},507$.

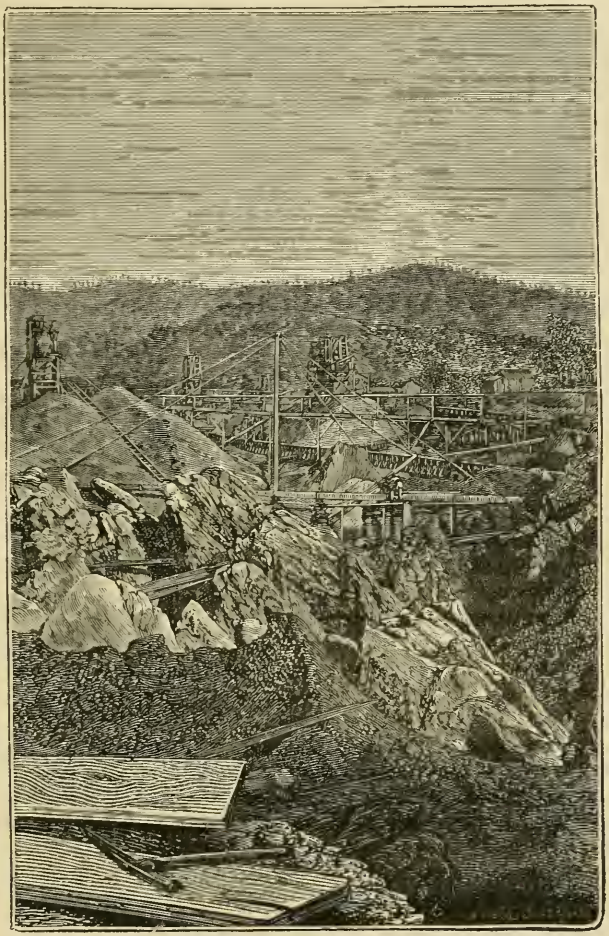


Fig. 126. — Mine de Bellarat.

En 1870, pour garantir à la maison Rothschild un emprunt de 42 millions de piécettes, le gouvernement espagnol lui a concédé pour 30 ans le

monopole de l'achat du mercure produit. Il s'est engagé à lui livrer par an au moins 32 000 bouteilles au prix de :

6 £ si le cours de Londres est inférieur à ce chiffre ;

6 £ plus la moitié de l'excédent du cours de Londres sur 6 £, s'il est compris entre 6 et 8 £ ;

7 £ plus les deux tiers de l'excédent du cours de Londres sur 8 £, s'il est supérieur à ce chiffre.

En fait, le cours de Londres a subi depuis 22 ans les plus grandes fluctuations ; il est descendu un instant au-dessous de 6 £, mais il a dépassé 26 £.

OR

Bellarat (Australie)[1]. — Cette mine, découverte en 1851, se compose de nombreux filons de quartz aurifère au milieu des schistes siluriens ; elle comprend, en outre, des alluvions aurifères provenant de la désagrégation de ces filons. On extrait l'or par bocardage, par amalgamation et par traitement dans les sluices (voy. ch. XII). Certaines pépites ont valu 280 000 francs.

ALLUVIONS PLATINIFÈRES

Oural (Russie)[2]. — On rencontre, surtout dans les districts de Nijni-Taguil, de Goroblagodosk et de Bisersk, de riches alluvions platinifères, formées probablement aux dépens d'une serpentine ou d'une péridotite. On exploite sous une épaisseur de 0 à 25 mètres de stériles, des couches de 4 à 5 mètres de puissance, contenant de 2gr,6 à 13 grammes de platine à la tonne (exceptionnellement 260 grammes). Le platine est associé à de l'or, du fer chromé et de la magnétite.

On atteint la couche platinifère par des puits distants de 24 mètres environ ; on retire les minerais par des treuils à bras, on les lave dans des *stanoks*, auges sibériennes employées également au lavage des matières aurifères. Si on veut repasser le rejet de ces appareils, il faut, cette fois, remplacer le caisson débourbeur par un trommel incliné, dans lequel les conglomérats platinifères achèvent de se transformer en sables. On enlève l'or par amalgamation et on obtient la poudre de platine, qui contient 90 0/0 de platine pur.

Le propriétaire peut exploiter par un personnel qui dépend directement de lui, ou bien il peut concéder une certaine région à des orpail-

1. *Voyage autour du monde*, de M. le comte de Beauvoir, 1868.
2. M. Laurent, *Annales des mines*, 1890.

leurs ou *starateli*, qui lui apportent tout le platine produit. 1 kilogramme de platine, qui se vend 630 francs, revient à 280 francs dans le premier cas, et à 240 francs dans le second, mais les vols sont alors plus fréquents.

En 1885, la production de l'Oural a été la suivante :

Districts platinifères proprement dits de	Nijni-Taguil	1049	kilogrammes.
	Bisersk.	424	—
	Goroblagodosk	107	—
Districts auroplatinifères		1011	—
Total.		2591	kilogrammes.

La production totale de l'année suivante s'est élevée à 4317 kilogrammes.

CHAPITRE XV

STATISTIQUE

Il nous semble utile de terminer ce volume par un résumé statistique :

1° De l'état, en 1890, de l'industrie minérale de la France ;

2° De la production minérale annuelle des principaux pays du monde ;

3° Des accidents causés par cette industrie.

Nous allons donc donner ci-dessous plusieurs tableaux aussi simplifiés que possible, dont l'examen nous paraît fort instructif :

Statistique de la France en 1890.

CONCESSIONS EN FRANCE ET EN ALGÉRIE

		NOMBRE DES CONCESSIONS		KILOMÈTRES CARRÉS DES CONCESSIONS	
		Instituées.	Exploitées.	Instituées.	Exploitées.
France.	Combustibles minéraux .	635	287	5549	3529
	Minerais de fer	317	65	1527	395
	Autres minerais métalliques.	284	59	3536	1266
	Substances diverses. . .	83	25	313	165
	Sel gemme.	53	29	294	202
Algérie.	Combustibles minéraux .	1	»	9	»
	Minerais de fer.	16	3	170	30
	Autres minerais métalliques.	30	11	474	156

PERSONNEL OUVRIER EMPLOYÉ DANS LES MINES DE FRANCE

	A L'INTÉRIEUR		A L'EXTÉRIEUR		
	HOMMES.	ENFANTS au-dessous de 16 ans.	HOMMES.	FEMMES.	ENFANTS au-dessous de 16 ans.
Combustibles.	81 601	5235	26 497	3798	4424
Autres mines.	8 453	114	3 027	565	346

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

		CONCESSIONS EXPLOITÉES	MILLIERS DE TONNES extraits.
Houille et anthracite.	Valenciennes et Boulonnais.	32	14 211
	Saint-Étienne et Rive-de-Gier, Sainte-Foy-l'Argentière, Communay et le Roannais.	44	3 587
	Alais, Aubenas, le Vigan	19	2 055
	Le Creusot et Blanzy, Decize, Épinac et Aubigny-la-Ronce, Bert, la Chapelle-sous-Dun, Sincey. . . .	17	1 915
	Aubin, Carmaux, Rodez, Saint-Perdoux.	22	1 453
	Commentry et Doyet, Saint-Éloy, l'Aumance. . . .	13	1 070
	Brassac, Champagnac et Bourg-Lastic, Langeac. . .	10	314
	Graissessac	6	262
	Ahun, Bourganeuf, Cublac, Meymac et Argentat . .	7	209
	Ronchamp.	2	203
	Le Maine, basse Loire, Vouvant et Chantonnay. . .	13	159
	Le Drac, Maurienne-Tarentaise et Briançon, Oisans, Chablais et Faucigny.	53	153
	Fréjus	1	»
	Ibantelly	»	»
Lignite.	Fuveau, Manosque, la Cadière	21	448
	Bagnols, Orange, Banc-Rouge, Barjac et Celas, Méthamis	10	24
	Gouhenans, Norroy	2	12
	Millau et Trevezel, Estavar, la Caunette, Simeyrols et Murat	10	7
	La Tour-du-Pin, Hauterives, Douvres	5	1

COMMERCE EXTÉRIEUR DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX

En 1890, la France a importé les quantités suivantes exprimées en milliers de tonnes :

Provenance.	Houille.	Coke.
Belge	4102	826
Anglaise	4846	12
Allemande	713	454
Diverses	4	»

Elle a exporté :

798 000	tonnes de	houille.
30 000	—	lignite.
75 000	—	coke.

PRODUCTION DES MINES DE FRANCE AUTRES QUE LES CHARBONNAGES

1° *Minerais de fer.*

	Milliers de tonnes.	Valeur de la tonne.
Minerai hydroxydé oolithique	2902	2,87
Hématite brune	78	9,45
Autres minerais hydroxydés	262	6,54
Hématite rouge et fer oligiste	171	6,17
Fer carboné spathique	59	9,22

2° *Minerais divers.*

	Valeur.
Minerai de plomb et argent	5 288 000
Minerai de zinc	4 753 000
Pyrite de fer	3 280 000
Minerai d'antimoine	806 000
Minerai de manganèse	448 000
Minerai de cuivre	3 000

3° *Bitume et asphalte.*

	Milliers de tonnes.
Schistes bitumineux	201
Calcaire asphaltique	23
Boghead	9

PRODUCTION DES CARRIÈRES

Les chiffres ci-dessous se rapportent à l'année 1887, mais ils sont sensiblement exacts pour 1890, sauf le phosphate de chaux, dont l'extraction a beaucoup augmenté.

	MÈTRES CUBES.	VALEUR EN FRANCS.
Pierre à bâtir	4 470 500	57 916 000
Pierre à chaux	2 695 500	13 336 000
Marne	630 500	2 408 000
Argile	1 015 000	4 461 000
Sable	1 322 500	7 562 000
Phosphate de chaux	181 500	13 448 000
Granite, roches feldspathiques	505 000	10 368 000
Ardoise	151 500	13 503 000
Pierre meulière	406 000	1 489 000
Grès, silex, roches quartzifères	664 500	13 481 000
Matériaux d'empierrement, ballast et remblais	4 048 000	13 848 000
Sables et argiles réfractaires	155 500	1 953 000
Kaolin	23 000	1 078 000
Ocres	50 000	527 000
Marbres à polir	34 500	4 454 000
Bauxite (minerai d'aluminium)	10 000	159 000
Lignite pyriteux	9 000	40 000
Sulfate de baryte	2 000	70 000
Spath fluor	2 500	105 000
Talc	2 500	28 000
Pierre lithographique	500	20 000

PRODUCTION DES CHARBONNAGES FRANÇAIS DEPUIS UN SIÈCLE

1789	240 000	tonnes.
1802	844 000	—
1811	774 000	—
1820	1 094 000	—
1830	1 863 000	—
1840	3 003 000	—
1850	4 434 000	—
1860	8 310 000	—
1870	13 330 000	—
1880	19 362 000	—
1890	26 083 000	—

Production minérale et métallurgique des divers pays du monde.

L'examen du tableau des pages 332 et 323 montre que, pour la production de la plupart des espèces minérales, l'Angle-

PRODUCTION MINÉRALE DES PRINCIPAUX PAYS

ANNÉES.	PAYS.	SEL MARIN et sel gemme.	COMBUSTIBLES minéraux.	MINERAI bitumineux.	PÉTROLE et naphte.	GRAPHITE.	PYRITE de fer.	MINERAI de soufre.
1890	France	843	26 083	233	»	»	230	4
1890	Algérie	24	»	»	»	»	»	»
1889	Nouvelle-Calédonie	»	»	»	»	»	»	»
1890	Grande-Bretagne et Irlande	2181	184 529	2248	»	»	16	»
1889	Canada	30	2 467	»	82	»	66	»
1889	Terre-Neuve	»	»	»	»	»	8	»
1889	Trinité	»	»	79	»	»	»	»
1889	Australie	3	3 999	41	»	»	»	»
1889	Tasmanie	»	41	»	»	»	»	»
1889	Nouvelle-Zélande	»	596	»	»	»	»	»
1889	Cap et Afrique anglaise	1	82	»	»	»	»	»
1889	Indes et Asie anglaise	1047	2 078	»	10	29	»	»
1890	Prusse	522	79 842	15	2	»	111	2
1889	Saxe	»	5 086	»	»	»	A	»
1889	Bavière	43	777	»	»	4	2	»
1889	Autres États d'Allemagne	475	3 428	43	7	»	9	»
1890	Luxembourg	»	»	»	»	»	»	»
1882	Détroits hollandais	68	»	»	»	»	»	»
1890	Belgique	»	20 366	»	»	»	3	»
1890	Autriche	303	24 260	»	100	24	5	»
1889	Hongrie et Croatie-Slavonie	165	2 887	»	»	»	52	»
1889	Italie	449	390	30	»	2	17	371
1889	Russie	1392	6 206	15	3259	»	16	2
1889	Suède	»	327	»	»	»	»	»
1888	Norvège	»	»	»	»	»	56	»
1888	Espagne	414	1037	»	»	»	»	133
1889	Cuba	»	»	»	»	»	»	»
1885	Portugal	»	15	»	»	»	B	»
1881	Suisse	42	6	2	»	»	»	»
1888	Grèce	18	6	»	»	»	»	2
1889	États-Unis	1105	128 115	47	4529	6	95	»
1888	Chili	»	356	»	»	»	»	»
1890	Vénezuéla	»	»	»	»	»	»	»
1890	Bolivie, Pérou, République Argentine	»	»	»	»	»	»	»
1885	Japon	»	1254	1	6	»	»	10

A, comptés avec le minerai de plomb; B, comptés avec le minerai de cuivre; C, non comptés. (Voir tableau

U MONDE EXPRIMÉE EN MILLIERS DE TONNES

MINERAI d'arsenic.	MINERAI d'antimoine.	MINERAI de bismuth.	MINERAI de fer.	FER CHROMÉ.	MINERAI de manganèse.	MINERAI de nickel.	MINERAI de cobalt.	MINERAI de zinc.	MINERAI de plomb.	MINERAI de cuivre.	MINERAI d'étain.	MINERAI d'aluminium.	MINERAI de mercure.	MINERAI d'argent.	MINERAI d'or.	MINERAI de platine.
»	5	»	3 472	»	16	»	»	48	26	»	»	19	»	»	»	»
»	»	»	475	»	»	»	»	13	»	12	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	2	»	20	2	»	3	10	»	»	»	»	»	»
13	»	»	14 002	»	13	»	»	22	46	12	15	12	»	»	1	»
»	»	»	76	»	1	»	»	»	C	C	»	»	»	C	C	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	2	»	»	»	48	20	4	»	»	C	C	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	6	»	»	»	»	»
»	1	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	33	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4	»	»	»	»	C	»
2	»	»	4 243	»	40	»	1	758	149	588	»	»	»	»	»	»
»	»	»	16	»	1	»	»	A	30	A	»	»	»	A	A	»
»	»	»	131	»	»	»	»	A	4	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	3 308	»	1	»	»	1	8	»	»	»	»	22		»
»	»	»	3 415	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	C	»	»	»	»	»
»	»	»	187	»	»	»	»	15	»	»	»	»	»	»	»	»
»	1	1	1 362	»	8	»	»	33	11	7	1	»	71	15	2	»
»	»	»	666	»	»	»	»	»	89	A	»	»	»	9		»
»	1	»	173	»	2	»	»	97	37	48	»	3	C	2	11	»
»	»	»	1 434	»	78	»	»	46	37	133	»	»	33	»	22 140	964
»	»	»	986	»	9	1	»	59	17	20	»	»	»	»	1	»
»	»	»	1	»	»	5		1	»	15	»	»	»	1	»	»
»	»	»	5 610	»	3	»	»	74	540	3202	»	»	28	»	»	»
»	»	»	251	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	2	»	10	»	7	»	»	»	1	69	»	»	»	»	»	»
»	»	»	19	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	123	»	2	»	»	43	15	»	»	»	»	»	»	»
»	C	»	14 750	2	25	1	»	C	C	C	»	»	87	C	C	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	111	1	»	»	165	1	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	20	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	2	»	»	»	»	»	»
»	C	»	C	»	»	»	»	»	C	»	C	»	»	»	»	»

ivant.)

ANNÉES.	PAYS PRODUCTEURS.	PRODUCTION DES MÉTAUX USUELS Exprimée en milliers de tonnes							PRODUCTION DES MÉTAUX PRÉCIEUX Exprimée en tonnes.			
		Fonte.	Fer.	Acier.	Cuivre.	Plomb.	Zinc.	Étain.	Or.	Platine.	Argent.	Mercure.
1890	France	1962	825	582	2	5	19	»	»	»	71	»
1890	Colonies françaises	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
1890	Grande-Bretagne et Irlande	8031	1954	3347	70	50	23	12	»	»	19	»
1889	Guyane anglaise	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
1889	Canada	24	»	»	3	»	»	»	2	»	12	»
1889	Terre-Neuve	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
1889	Australie	2	»	»	8	50	»	4	47	»	14	»
1889	Tasmanie	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
1889	Nouvelle-Zélande	»	»	»	»	»	»	»	6	»	1	»
1889	Asie anglaise	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»
1889	Afrique anglaise	»	»	»	»	»	»	»	9	»	»	»
1890	Prusse	3288	1477	1572	23	94	139	»	»	»	261	»
1890	Saxe	34			»	6	»	»	1	»	81	»
1890	Bavière	67			»	2	»	»	»	»	»	»
1890	Autres États de l'Allemagne	755			4	»	»	»	1	»	65	»
1890	Luxembourg	568	6	109	»	»	»	»	»	»	»	»
1888	Hollande et détroits	»	»	»	1	4	29	1	»	»	»	»
1890	Belgique	788	514	202	»	10	83	»	»	»	33	»
1890	Autriche	666	317	53	1	10	5	»	»	»	36	542
1889	Hongrie et Croatie-Slavonie	226	13	»	»	3	»	»	2	»	17	11
1889	Italie	14	182	158	7	18	»	»	»	»	34	386
1889	Russie	746	431	264	6	1	6	»	37	3	14	167
1889	Suède	421	349	138	1	»	»	»	»	»	4	»
1888	Norvège	1	»	»	»	»	»	»	»	»	6	»
1888	Espagne	165	59	28	71	235	5	»	»	»	65	1865
1888	Grèce	»	»	»	»	12	»	»	»	»	»	»
1890	États-Unis	9350	2558	3747	119	147	58	»	49	»	1695	918
1888	Chili	»	»	»	20	»	»	1	3	»	186	»
1889	Mexique	»	»	»	»	»	»	»	1	»	1336	»
1889	Colombie	»	»	»	»	»	»	»	5	»	24	»
1889	Vénézuéla	»	»	»	»	»	»	»	2	»	»	»
1889	Bolivie	»	»	»	»	»	»	»	»	»	230	»
1889	Brésil	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»
1888	République Argentine	»	»	»	»	»	»	»	»	»	10	»
1888	Pérou	»	»	»	»	»	»	»	»	»	75	»
1888	Amérique centrale	»	»	»	»	»	»	»	»	»	48	»
1889	République Sud-Africaine	»	»	»	»	»	»	»	15	»	»	»
1888	Japon	7	»	»	8	»	»	»	1	»	42	»
1888	Chine	»	»	»	2	»	»	»	14	»	»	»

terre et les États-Unis d'Amérique sont à la tête des nations, et que l'Allemagne, la Russie, l'Espagne et la France s'efforcent de les suivre.

Stephenson disait très justement que l'Angleterre devrait plutôt faire asseoir le président des Communes sur une benne de charbon que sur un sac de laine. Le *roi-charbon* a établi et maintient la suprématie commerciale de l'Angleterre à travers le monde.

Malheureusement, certains pays ne comptent pas d'une façon distincte dans leur statistique minérale, ou même ne comptent pas du tout certaines sortes de minerai. Nous avons vu plus haut qu'avant de se séparer, le *Congrès international des mines et de la métallurgie* avait émis un vœu relatif à l'uniformisation de la statistique minérale.

Le tableau de la page 324 fait connaître la production métallurgique annuelle des principaux pays, obtenue par l'emploi de la majeure partie de leurs propres minerais et d'une quantité généralement restreinte de minerais étrangers. Il complète donc, dans une certaine mesure, le tableau précédent.

Accidents.

ACCIDENTS SURVENUS EN 1890 DANS LES EXPLOITATIONS FRANÇAISES

		NOMBRE DES ACCIDENTS		NOMBRE DES VICTIMES DES ACCIDENTS			
				SOUTERRAINS		SUPERFICIELS	
		Souterrains.	Superficiels.	Blessés.	Tués.	Blessés.	Tués.
Mines.	De charbon. . . .	734	96	679	292	79	20
	Autres.	69	4	56	15	3	1
Carrières.	Souterraines . . .	61	4	50	23	1	3
	A ciel ouvert . . .	»	168	»	»	110	91

CAUSES DES ACCIDENTS SURVENUS EN 1890 DANS LES MINES DE FRANCE ET D'ALGÉRIE

	ACCIDENTS.	TUÉS.	BLESSÉS.
Éboulements	359	70	297
Grisou	8	117	48
Coups de mine	34	6	32
Ruptures de câble, chaîne, engins	7	1	8
Autres accidents de puits	33	18	16
Voies ferrées souterraines	227	31	196
Travaux manuels	40	1	39
Causes diverses	96	63	100
Accidents superficiels	101	21	83

PROPORTION DES OUVRIERS TUÉS ANNUELLEMENT DANS LES MINES DE DIVERS PAYS, DE 1872 A 1881

Saxe	1 sur 295	ouvriers employés.
Prusse	1 sur 346	—
Belgique	1 sur 419	—
Angleterre	1 sur 458	—
France	1 sur 476	—

L'examen de ce tableau prouve que la surveillance active, parfois même un peu tracassière, du Corps national des mines diminue dans une certaine mesure le nombre des accidents en France. Il fait le plus grand honneur aux fonctionnaires de ce corps, en même temps qu'aux exploitants français. Il fournit, d'autre part, cette constatation véritablement effroyable que, même dans notre pays, un ouvrier qui veut consacrer toute son existence laborieuse à l'art des mines, a environ une chance sur vingt de périr de mort violente. Les dangers des carrières sont presque égaux à ceux des mines.

Qu'il nous soit permis, en terminant, de saluer tous ces combattants de la lutte pour la vie, absolument héroïques dans leur modestie !

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

PRÉFACE 7

CHAPITRE Ier. — Introduction. 9

Définition des mines, minières et carrières d'après la loi française. . . . 9
Législation française des mines 10
Nature des minerais. 16
Description des gisements en couches, filons ou amas 17

CHAPITRE II. — Recherches. 27

Indications diverses pour la découverte d'un gisement 27
Travaux de recherches 30
Sondages ordinaires et au diamant; leur conduite. 31

CHAPITRE III. — Exploitation 44

Aménagement général d'une mine 44
Exploitation à ciel ouvert 47
Exploitation souterraine : Abandon, foudroyage, remblayage (gîtes minces et gîtes puissants). 50

CHAPITRE IV. — Abattage. 63

Anciens procédés à la main, à l'eau et au feu. 63
Travail à la poudre et emploi de divers explosifs. 66
Engins mécaniques : Perforateurs, abatteurs, haveurs, excavateurs . . . 77
Emploi de l'électricité. 84

CHAPITRE V. — Puits et Galeries. 86

Nomenclature 86
Soutènement : Boisage, muraillement, blindage. 87
Galeries : Poussage simple, au bouclier, avec muraillement. 93
Puits : Fonçage au jour et sous stot, en terrain solide et ébouleux . . . 96
Cuvelage en bois, en fonte et en maçonnerie 98
Fonçage à niveau plein : Trousse coupante, procédés Triger, Guibal, Chaudron, Pœtsch 101

Pages.

CHAPITRE VI. — Transports souterrains 111

Procédés divers : Portage, traînage, brouettage, chemin de bois, navigation, circulation aérienne 112
Chemins de fer : Voie et matériel roulant. 115
Plans inclinés : Plans automoteurs, plans bisautomateurs, valiées. . . . 121
Traction mécanique : Deux câbles ou un câble unique. 129
Résultats. 132

CHAPITRE VII. — Extraction 132

Câbles ronds ou plats, végétaux ou métalliques 133
Appareils d'extraction : Bennes, cages, guidonnage, accrochages, parachutes, clichage, chevalement, molettes, évite-molettes, bobines et tambours, culbuteurs, rivages. 136
Moteur d'extraction : A vapeur et divers 149
Extraction sans câble. 156
Extraction pneumatique. 156

CHAPITRE VIII. — Épuisement 158

Venues d'eau. 158
Défenses : Serrements et plates cuves 159
Captage 162
Galeries d'écoulement. 163
Machines d'épuisement : Pompes, moteurs, régénérateurs. 165
Moyens d'épuisement 175

CHAPITRE IX. — Ventilation. 176

Causes de viciation de l'air des mines 177
Mesures de l'aérage : Quantité d'air nécessaire, dépression motrice et orifice équivalent. 179
Distribution du courant d'air 181
Aérage sans ventilateur : Naturel, par cheminée, par foyer, par l'air comprimé, par les manches à vent, par arrosage. 184
Ventilateurs volumogènes et déprimogènes (à force centrifuge et à impulsion oblique). 187

CHAPITRE X. — L'Ouvrier mineur 194

Monographie : Travail, salaire, mœurs, coup d'œil rétrospectif. 194
Conférence de Berlin 203
Circulation des hommes : Échelles fixes, échelles mobiles, cages guidées, moyens divers 205
Éclairage dans les mines non grisouteuses : Chandelle, rave, lampes fixes, lampes électriques. 214

CHAPITRE XI. — Accidents 218

Grisou : Composition, propriétés physiques et chimiques, gisement, influences extérieures. 218

Pages.

Poussières de charbon : Distillation, rôle condensant, inflammabilité propre 223
Mesures à prendre dans les mines grisouteuses : Ventilation, exploitation, emploi d'explosifs, préservatifs divers, éclairage 225
Recherche et dosage du grisou 239
Coups de feu 241
Sauvetages : Appareils respiratoires, soins aux victimes 244
Accidents divers : Incendies, inondations, dégagements d'acide carboniques, éboulements, menus accidents 246
Législation française des accidents et du grisou 251

CHAPITRE XII. — Préparation mécanique 253

Minerais métalliques : Séparation du menu et du gros, concasseur américain, klaubage et scheidage du gros, débourbage du menu, broyage du gros mixte, classement par grosseur (trommels), classement par densité (cribles, aires, cuves, appareils à courant ascendant, tables à secousses), considérations générales 254
Minerais de fer : Patouillet, trieuse Vavin 273
Minerais d'or 275
Tout-venant de houille : Broyage, classement par grosseur, lavage, traitement des limons 278
Anthracite : Breakers 286
Tourbe 287
Un dernier mot sur la préparation mécanique 288

CHAPITRE XIII. — Congrès international des mines et de la métallurgie. 291

Séance du 3 septembre 1889 291
— 5 — — 292
— 7 — — 294
— 10 — — 295
— 11 — — 296

CHAPITRE XIV. — Exemples 298

Sel : Wieliczka, Hallstadt 298
Charbon : Anzin, Blanzy, Épinac 300
Graphite : Krumau 304
Diamant : Kimberley 304
Pétrole : Bakou 306
Fer : Sommorostro, Mokta-el-Hadid 307
Zinc : Moresnet 308
Plomb argentifère : Linarès, Leadville 310
Cuivre : Huelva 311
Cuivre, étain, plomb : Cornwall 312
Alluvions d'étain : Perak 313
Mercure : Almaden 313
Or : Bellarat 316
Platine : Oural 316

Pages.

CHAPITRE XV. — Statistique. 318

Statistique de la France en 1890 : Concessions en France et en Algérie, personnel ouvrier, production et commerce extérieur des combustibles minéraux, production des autres mines, production des carrières (en 1887), production des charbonnages depuis un siècle. 318
Production des principaux pays du monde en minerais, en métaux usuels et en métaux précieux 321
Accidents : Accidents survenus en 1890 dans les exploitations françaises, causes des accidents survenus en 1890 dans les mines de France et d'Algérie, proportion annuelle des ouvriers tués dans divers pays. . . 325

Universitas
BIBLIOTHECA
Cittaviensis

Paris. — May & Motteroz, L.-Imp. réunies
7, rue Saint-Benoît.

La Bibliothèque
Université d'Ottawa

Echéance

Celui qui rapporte un volume après la dernière date timbrée ci-dessous devra payer une amende de cinq sous, plus un sou pour chaque jour de retard.

The Library
University of Ottawa

Date due

For failure to return a book on or before the last date stamped below there will be a fine of five cents, and an extra charge of one cent for each additional day.

17 1971

a39003 004457536b

CE TN 0275
.B3M
COO BADOUREAU, A LES MINES, L
ACC# 1299058